



Analys av samband mellan skogslagervolym och maskinproduktivitet i gallring och slutavverkning

Analysis of the relationship between the harvested, but not yet forwarded, volume and machine productivity in thinning and final felling operations



Foto: Roland Bymark/SLU Bildbank

Nils Lindberg

**Arbetsrapport 6 2016
Examensarbete 30hp A2E
Jägmästarprogrammet**

**Handledare:
Ola Lindroos**

Sveriges lantbruksuniversitet
Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi
S-901 83 UMEÅ

www.slu.se/sbt

Tfn: 090-786 81 00

Rapport från Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi

Analys av samband mellan skogslagervolym och maskinproduktivitet i gallring och slutavverkning

Analysis of the relationship between the harvested, but not yet forwarded, volume and machine productivity in thinning and final felling operations

Nils Lindberg

Nyckelord: Skördare, Skotare, Produktivitet, Skogslager, Drivning

Arbetsrapport 6 2016

Master thesis in Forest Management at Department of Forest Biomaterials and Technology, 30 hp
EX0772, A2E

Jägmästarprogrammet

Handledare: Ola Lindroos, SLU, Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi

Extern handledare: Anna Bylund, SCA Skog

Examinator: Dimitris Athanassiadis, SLU, Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi

Sveriges lantbruksuniversitet

Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi

Utgivningsort: Umeå

Utgivningsår: 2016

Rapport från Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi

Förord

Denna studie har utförts vid institutionen för skogens biomaterial och teknologi på Sveriges Lantbruksuniversitet i Umeå. Studien är ett examensarbete motsvarande 30 högskolepoäng i skogshushållning med inriktning på skogsteknologi.

Jag vill först och främst tacka min handledare på SLU, Ola Lindroos som varit ett stort stöd under arbetets gång.

Jag vill också tacka de på SCA Skog som möjliggjort det här arbetet: Min externa handledare Anna Bylund som hjälpt till med SCA:s datasystem och drivningsfrågor, Mattias Eriksson som gett bra synpunkter på arbetet samt Mari Wiklund som hjälpt till med datautsökningar.

Jag vill även rikta ett tack till Kenneth Nyström på SLU för hjälp med formelskrivning.

Tack till Susanne Wicks för statistisk konsultation och goda synpunkter på rapporten. Tack även till Elinor Brehmer för värdefulla kommentarer på rapporten.

Umeå, februari 2016

Nils Lindberg

Sammanfattning

I svenskt skogsbruk använder man sig idag av ett tvåmaskinsystem för att fälla och transportera ut stockar från skogen. En skördare fäller, kvistar och apterar träden och en skotare transporterar ut stockarna till avlägg. I detta system blir skotaren indirekt beroende av skördaren eftersom det inte går att transportera ut en större volym än det som fällt. För att motverka beroendet brukar man använda sig av ett skogslager, en volym som skördaren upparbetat och ligger i skogen i väntan på uttransport av skotaren.

Syftet med denna studie har varit att analysera om skördares och skotares produktivitet påverkas av storleken på skogslagret. Data som har använts i studien var produktionsdata från 21 maskinlag under ett års tid. Både gallrings- och slutavverkningslag inkluderades. Dataunderlaget har tillhandahållits av SCA Skog och analyserna har gjorts med en upplösning på dygnsnivå. Som mått på maskinernas producerande förmåga användes en relativ produktivitet; förhållandet mellan den faktiska produktiviteten och den förväntade produktiviteten (normen). Analyserna av samband mellan maskinernas produktivitet och skogslagrets storlek utfördes som linjära regressionsanalyser.

Analyserna visade att det varken fanns entydiga eller förväntade resultat. Signifikanta samband mellan maskinernas produktivitet och skogslagrets volym hittades för åtta skördare och sju skotare, dock var samtliga samband svaga ($R^2 \leq 8,5\%$). Resultaten var svårtolkade på grund av komplexitet och begränsad forskning om skogslagret och dess inverkan på maskinproduktiviteten. En felkälla i studien kan vara den förväntade produktiviteten (normen), på grund av potentiella osäkerheter i bortsättningsunderlagen (det vill säga modellerna för att beräkna normen). För att möjliggöra vidare studier krävs bland annat bättre kunskap om bortsättningsunderlagens tillförlitlighet.

Summary

In Swedish forestry, a two-machine system is used for final felling and thinning operations. A harvester fell, limb and buck the trees and a forwarder transport logs to a roadside landing. In a two-machine system, the forwarder becomes indirectly dependent on the harvester since it is impossible to transport a bigger volume than the current felled volume. To reduce this dependence a "buffer" between the two machines is regularly used. The buffer consists of a log-volume which is harvested but not yet forwarded to a roadside landing.

This study has aimed to analyze if the productivities of the harvester and forwarder are affected by the buffer-volume. The data used in this study was derived from daily machine reports from 21 felling teams under a year. Reports from both thinning and final felling operations were included in the study. The data was provided by SCA Forest and the analyses has been done with a resolution of day-level data on buffers and performance. As a measure for machine performance, a relative productivity was used which describes the relationship between the actual productivity and the expected productivity. The analyses of relationships between machine productivity and the harvested, but not yet forwarded volume, were done as linear regressions.

The analyses showed neither clear nor expected results. Significant correlations between machine productivity and the harvested, but not yet forwarded volume were found for eight harvesters and seven forwarders, although all correlations were weak ($R^2 \leq 8,5 \%$). The results were hard to interpret due to the complexity and lack of literature about the harvested, but not yet forwarded volume and its effects on machine productivity. A source of error in the study could be the expected productivity, due to potential inaccuracies in the standardized calculations. Further studies would benefit from, for instance, better knowledge about accuracy in the models for expected productivity.

Innehållsförteckning

Förord	4
Sammanfattning	5
Summary	6
Introduktion	8
Syfte	10
Material och metoder	11
Definitioner	11
Konceptuell modell	11
Data	13
Beräkning av löpande skogslager	15
Beräkning av relativ prestationskvot	16
Analyser	18
Resultat	19
Löpande utveckling av skogslagret	19
Samband mellan skogslagret och den relativa produktiviteten	19
Samband mellan skogslagrets medianstorlek och relativ medianprestation	28
Diskussion	30
Utveckling av det löpande skogslagret	30
Regressionsanalyser	30
Analys av maskinlagens medianskogslager	34
Vidare studier	34
Referenser	35
Bilaga 1	37
Bilaga 2	41

Introduktion

I Sverige avverkas cirka 80 miljoner kubikmeter (Skogsstyrelsen 2014) rundvirke per år, totalt i hela landet. Det är alltså 80 miljoner kubikmeter rundvirke som ska avverkas och transporteras från skog till industri varje år. Vid avverkning av skog har man i svenskt skogsbruk länge använt sig av ett tvåmaskinssystem tillsammans med kortvirkesmetoden (Lundqvist et al 2014).

Kortvirkesmetoden innebär att varje enskilt träd fälls och apteras till stockar med bestämd längd redan i skogen (Lundqvist et al 2014). Den anses i Sverige vara mest effektiv eftersom man inte behöver transportera hela träd till industrin. Detta underlättar även hanteringen vid industrin eftersom råvaran anländer i färdiga längder och kan därmed integreras direkt i den industriella processen.

Tvåmaskinssystemet bygger på två enheter: en skördare som upparbetar träden och en skotare som transporterar virket. Dessa maskiner brukar vanligtvis arbeta i maskinlag, med en skördare och en skotare per maskinlag. Skördarens uppgift är att fälla, kvista och aptera träden till stockar (Silversides & Sundberg 1988, Silversides & Sundberg 1989). Längden på varje stock beror på flera faktorer bland annat trädslag, typ av sortiment och diameter, och optimeras efter aktuell prislista med hjälp av en dator i skördaren (Sveaskog 2013). I dagsläget dominerar skördare av typen engreppsskördare. Dessa fäller, kvistar och kapar träden med samma aggregat. Längre tillbaka i tiden har även tvågreppsskördare förekommit. Dessa har ett aggregat för fällning och ett aggregat för kapning, de "greppar" alltså trädet två gånger. Engreppsskördarna dominerar i svenskt skogsbruk idag eftersom de anses vara mer effektiva (Andersson 2004). Skotarens uppgift är att transportera stockarna som skördaren upparbetat från skog till avlägg. Därifrån körs virket med lastbil direkt till industri eller via terminal.

Ett mått på skördarens respektive skotarens effektivitet är dess produktivitet (bearbetad volym per timme). Maskinernas produktivitet varierar naturligt från ett bestånd till ett annat på grund av olika förutsättningar. Eftersom maskinerna utför olika arbetsuppgifter behöver inte alla förutsättningar vara positiva/negativa för båda maskinerna. De faktorer som alltid påverkar båda maskinernas produktivitet är faktorerna i "GYL-klassificeringen" som ofta används vid avverkningsplanering. "GYL" är en förkortning för "grundförhållanden, ytstruktur och lutning" och varje faktor bedöms enligt en femgradig skala där stigande värden medför ökade körsvårigheter (Myhrman et al. 1993). Med grundförhållanden menas markens hållfasthet med avseende på jordart, fuktighet och armering. Ytstruktur är ett mått som beskriver förekomsten och storleken av fasta hinder som stenar, block, stubbar, gropar etc. Lutning är ett mått på hur stor lutning avverkningstrakten ligger i. Sammanfattningsvis är det svårast för skogsmaskiner att köra på blöta, lågbäriga marker i hög lutning med flertalet stora markhinder. Maskinernas produktivitet blir med andra ord lägre ju högre "GYL-värde" ett avverkningsobjekt har. Både skördare och skotare har generellt sätt lägre produktivitet vid gallring jämfört med slutavverkning (Eriksson & Lindroos 2014).

Som tidigare nämnt gör skördaren och skotare olika arbetsuppgifter och därmed finns det även faktorer som enbart påverkar produktiviteten för en av maskinerna. Skördarens produktivitet påverkas framförallt av medelstammens volym och en större volym per avverkat träd ökar skördarens produktivitet (Eriksson & Lindroos 2014). Skotarens produktivitet påverkas till stor del av terrängtransportavståndet, det vill säga

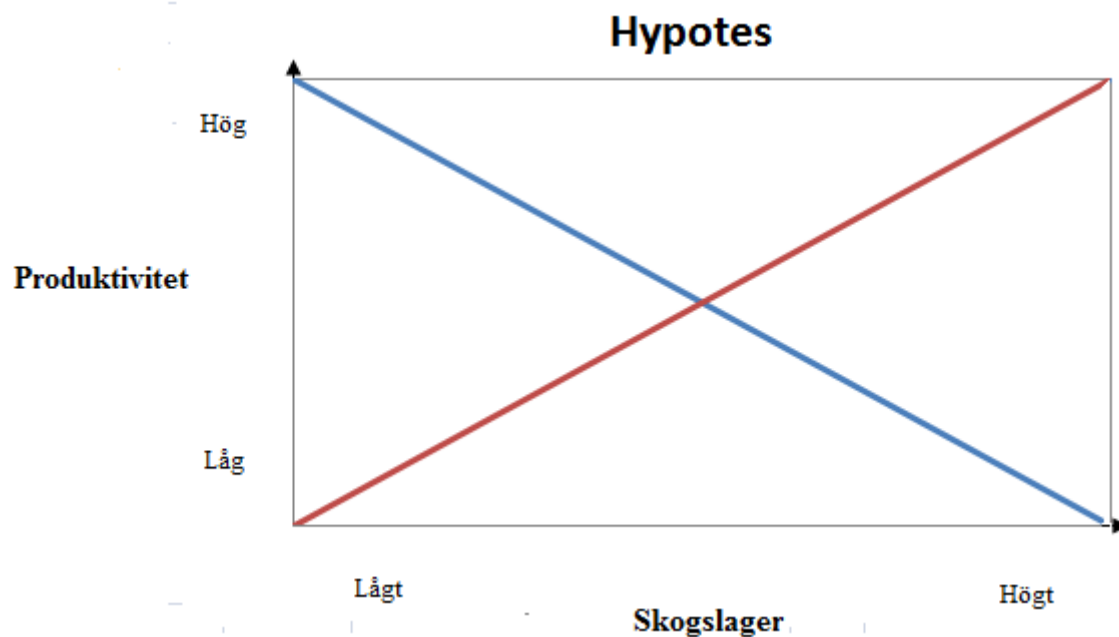
medelavståndet från avverkningstrakten till avlägg. Skotarens produktivitet sjunker med ökande terrängtransportavstånd (Lundqvist et al 2014).

För att prognostisera skördares och skotares produktivitet vid olika avverkningstrakter använder man sig vanligtvis av bortsättningsunderlag. Det är ett verktyg för att med hjälp av normer uppskatta respektive maskins produktivitet för ett visst avverkningsobjekt med hänsyn till olika variabler. Bortsättningsunderlagen är utformade olika för skördare och skotare. Förutom tidigare nämnda faktorer kan bortsättningsunderlagen för skördaren även ta hänsyn till bland annat stamtäthet, underväxt, svåra träd, mörkerkörning samt förekomst av snö (SCA 2006). Ökad förekomst/frekvens av dessa faktorer sänker generellt sett skördarens produktivitet. För skotare kan bortsättningsunderlagen utöver de tidigare nämnda faktorerna även ta hänsyn till bland annat volym per sortiment, traktens storlek och skotarens storlek (SCA 2011). Avverkning av skog i Sverige sköts vanligtvis av privata entreprenörer och bortsättningsunderlagen kan då vara ett underlag för ersättningskalkyler.

På SCA Skog har man under 2000-talet använt sig mycket av mellanstora maskiner (kombimaskiner) som går att använda både i gallring och i slutavverkning. Mellanstora maskiner kan vara praktiska eftersom de är väldigt flexibla då de kan avverka både gallringsbestånd och slutavverkningsbestånd. Nackdelen är att de inte alltid är det optimala maskinvalet för varje enskild avverkning (Lundqvist et al. 2014). Därför har intresset ökat för att rätt maskinlag ska arbeta i rätt avverkningar för att maximera skogsmaskinernas individuella produktivitet samt minimera drivningskostnaderna. I och med detta har det också blivit intressant att veta vad obalanser mellan ett maskinlags skördare och skotares produktivitet kostar i form av förlorad produktion.

Obalanser i ett maskinlag kan uppkomma eftersom skotaren är indirekt beroende av skördaren då det inte går att transportera ut en större volym än det som skördaren fällt. Detta beroende försöker man minimera genom att hålla ett så kallat skogslager i skogen, det vill säga en viss virkesvolym som agerar arbetsbuffert mellan skördaren och skotaren (Lindroos 2010). Skogslagret är med andra ord den volym som skördaren upparbetat och ligger i skogen men ännu inte transporterats iväg till avlägg av skotaren. Det kan dock förekomma obalanser mellan maskinerna som gör att skotaren hinner ikapp skördaren (och blir därmed stillastående) eller att skotaren tappar i arbetstakt. Dessa obalanser försöker man hantera genom att hela tiden bibehålla ett lagom stort skogslager. Maskinförarna brukar generellt försöka hålla skogslagret på minst 600 m³f ifall skördaren blir ståendes en dag (Ek 2013). Är skogslagret alltför stort kan man få problem med översnöade eller borttappade stockar och är det för litet finns risken att skotaren kommer ikapp skördaren och blir stillastående.

Det är ännu inte testat hur skogslagrets storlek påverkar respektive maskins produktivitet. Eftersom skogslagret agerar som en arbetsbuffert skulle den kunna spegla skotarens och skördarens produktivitetsförändringar. Det vore naturligt att skotarföraren saktar ned om denne upptäcker att skotaren börjar komma ikapp skördaren. Då får skördaren en möjlighet att bygga upp skogslagret igen utan att skotaren behöver bli helt stillastående. Skördarföraren kommer då att behöva arbeta fortare för att undvika stillestånd på skotaren och kan förväntas öka sin produktion. På samma sätt vore det naturligt att skördarföraren saktar ned på arbetstakten om det är uppenbart att skotaren inte hinner med. Skotarföraren bör då känna sig manad att arbeta ikapp skördaren för att det ska vara möjligt för denne att arbeta i fullt arbetstempo. Hypotesen illustreras i figur 1.



Figur 1. Hypotes för sambandet mellan skogslagervolym och maskinproduktivitet. Den blå linjen representerar skördare och den röda linjen representerar skotare.

Figure 1. Hypothesis for the relationship between the volume harvested, but not yet forwarded volume and machine productivity. The blue line represents harvesters and the red line represents forwarders.

Syfte

Studien syftade till att testa om det finns något samband mellan skogslagrets storlek och maskinproduktivitet för olika maskinlag under ett års tid i Västerbottens län. Med hjälp av resultat från en sådan studie kan bättre förståelse erhållas om maskinlagens dynamiska interaktioner och på så sätt förbättra utnyttjandet av maskinerna.

Material och metoder

Definitioner

Faktisk prestation/produktivitet

Vad en maskin faktiskt presterat (m^3f/G_0 -timme), det vill säga resultatet av utfört arbete.

Förväntad prestation/produktivitet

Vad en maskin förväntas prestera (m^3f/G_0 -timme), bedömt efter normprestationer.

Relativ prestation

Maskinens faktiska prestation i förhållande till den förväntade prestationen.

Löpande skogslager

En volym som agerar buffert mellan skördaren och skotaren. Skogslagret är den avverkade upparbetade virkesvolymen som ligger i skogen och väntar på att transporteras ut av skotaren (m^3f).

Inmätt volym

Total volym som mätts in vid industri från ett specifikt avlägg (m^3f).

Inrapporterad volym

Bearbetad volym som rapporteras in av maskindatorn (m^3f).

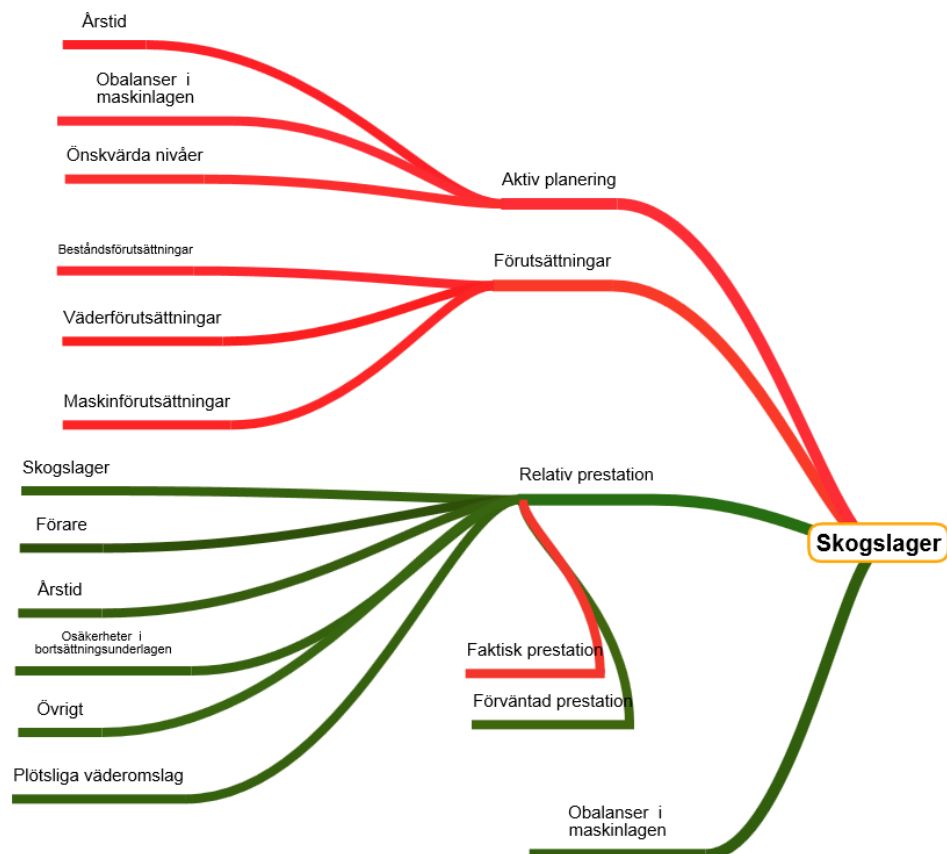
Konceptuell modell

För att få en bättre förståelse för de faktorer som kan påverka skogslagret skapades först en konceptuell modell (figur 2). Det bör poängteras att dessa faktorer inte grundar sig på forskning utan på teorier, eftersom forskningen inom området är mycket begränsad. De röda förgreningarna symboliserar faktorer som går att planera/förutsäga. De gröna förgreningarna symboliserar faktorer som uppkommer vid det faktiska utförandet. Den översta förgreningen kallas aktiv planering. Med det menas att maskinförare och/eller produktionsledare aktivt planerar för att hålla skogslagret på en lämplig nivå. Den aktiva planeringen kan påverkas av vilken årstid det är, hur stora obalanser som behöver pareras samt önskvärda nivåer på skogslagret.

Den andra förgreningen kallas för förutsättningar. Denna kategori innefattar förutsägbara drivningsfaktorer som kan tänkas komma att påverka skogslagrets storlek. Med beståndsförutsättningar avses skogliga faktorer som medelstamsvolym, typ av avverkning, terrängtransportavstånd och så vidare. Olika beståndsförutsättningar påverkar skördaren och skotaren i olika grad. Det gör att skördaren i vissa bestånd kan vara väldigt snabb/långsam och detsamma gäller för skotaren. Det får till följd att skogslagret kan öka/minska beroende på om någon av maskinerna har mer gynnsamma/ogynnsamma förhållanden än den andra. Väderförutsättningar kan också ha en påverkan eftersom maskinerna naturligt presterar sämre i exempelvis mycket snö. Bestånds- och väderförutsättningarna är också faktorer som tas hänsyn till i bortsättningsunderlagen. Med maskinförutsättningar avses maskinlagets maskinpark i form av storlek, maskinellt skick, etc. Om exempelvis skördaren är av en större modell och skotaren av en mellanstor modell leder det (utan aktiv planering) till att skördaren ofta kommer arbeta fortare än vad skotaren hinner med och därmed öka skogslagrets volym.

Den relativa prestationen är en kvot mellan den faktiska prestationen och den förväntade prestationen. Den beskriver en maskins faktiska prestation gentemot vad den förväntats prestera. Om maskinföraren ökar eller sänker arbetstakten kommer också den relativa prestationen att öka respektive sjunka. En maskins relativa prestation borde därför kunna påverka skogslagrets storlek. Enligt studiens hypotes kan skogslagrets storlek påverka maskinernas relativa prestation. Enligt den konceptuella modellen kan den relativa prestationen i sin tur påverka skogslagrets storlek. Det kan därför bli svårt att tolka studiens resultat eftersom man inte kan veta om det var skogslagret som påverkade den relativa prestationen eller tvärtom. Förutom skogslagret finns det andra faktorer som också kan påverka den relativa prestationen; exempelvis val av förare, osäkerheter i bortsättningsunderlagen, aktuell årstid och plötsliga försvårande väderomslag.

Den sista förgreningen i figur 2 kallas "obalanser i maskinlag". Om obalanser mellan maskinerna uppkommer i samband med avverkningen är det givet att skogslagrets storlek påverkas.



Figur 2. Konceptuell modell.
Figure 2. Conceptual model.

Data

För att kunna analysera skogslagrets påverkan på maskinernas producerande förmåga krävs kännedom om maskinlagens dagliga arbetsprestationer. Detta har erhållits med hjälp av SCA Skog som har inrapporterade data från sina entreprenörer samlade i en databas. Varje maskin gör en inrapportering när:

- Maskinförarens skift är slut.
- Maskinen är klar med aktuellt avlägg och ska flytta till nästa.
- Maskinen börjar med ett annat "arbete". Olika arbeten kan exempelvis vara rundvirkeshantering, manuell aptering, risning eller brobygge.

Det kan från en maskin förekomma flera inrapporteringar från olika avlägg under ett och samma dygn.

Det inrapporterade data som SCA Skog tar emot i sin databas är mycket detaljerat. Den visar bland annat hur stor volym (m^3f) en viss maskin rapporterat in, med en tids- och datumangivelse på minutnivå per avlägg. Varje maskin har ett unikt ID-nummer och det har även varje avlägg. För varje inrapportering finns även information om arbetspassets avverkningsförutsättningar som exempelvis medelstammens volym för skördare, volym per lass för skotare, antal bearbetade träd samt antal spenderade G_0 -timmar. Med G_0 -timmar avses "*en tidsenhet där avbrott inte ingår, dvs. enbart den tid som går åt för en arbetsuppgifts egentliga lösande*" (Lindroos 2010).

Den högsta möjliga upplösningen med inrapporteringsdata är dygnsvisa värden. Inrapporteringsdata beskriver inte tidpunkten för start och stopp för arbetspasset som ligger bakom varje inrapportering och inte heller maskinförarnas skiftgång. Därför är det inte möjligt att göra analysen på skiftnivå eller per timme.

Innan det gick att bearbeta inrapporteringsdata krävdes först en sortering och en sällning. Detta gjordes i Microsoft Excel. Data sorterades först efter varje maskins unika ID-nummer och extraherades så att varje maskin hade sitt inrapporteringsdata i ett separat arbetsblad. Efter en okulär inspektion av varje maskins inrapporteringar syntes det tydligt att vissa inrapporteringar inte var av intresse för studien eller var felaktiga/orimliga. Det som inte var av intresse för studien var inrapporteringar där ett annat arbete än rundvirkeshantering (skogsavverkning) hade utförts. Det som undersökts i studien var upparbetning/transport av träd och inget annat. Tid (och i vissa fall volym) för maskinflyttar, brobyggen, risning etc. togs alltså inte i beaktning. Dessa poster identifierades och togs sedan bort. Maskinflyttar var enkla att identifiera eftersom de inrapporteringarna varken innehöll en volym eller antal arbetstimmar. Brobyggen, risning och liknande åtgärder identifierades på ett annat sätt. Vid en inrapportering där exempelvis ett brobygge hade gjorts fanns både en inrapporterad volym samt tid. Dessa kändes igen på att volymen är försumbar ($< 1 \text{ m}^3\text{f}$). Den inrapporterade tiden kunde i dessa fall variera mellan 0,1 - 2,0 G_0 -timmar. Det bör dock poängteras att dessa åtgärder ger en kostnad för entreprenören eftersom maskinen varit i drift utan att bearbeta några betalningsgrundande volymer, men återigen är det inte relevant för denna studie. Totalt sällades i snitt 76 inrapporteringar bort per maskin på grund av maskinflyttar, brobyggen, risning etc. (Bilaga 2, Tabell B1).

Det svåraste att identifiera var felaktiga data, det vill säga inrapporteringar som är systematiskt eller slumpmässigt felaktiga. Två typer av orimliga data hittades, båda typer var ovanliga (Bilaga 2, Tabell B1):

1. En liten inrapporterad volym i förhållande till ett stort antal G_0 -timmar tyder på ett fel. En skördare kunde exempelvis ha rapporterat in att den hade upparbetat $50 \text{ m}^3\text{f}$ under 70 G_0 -timmar vilket gav en väldigt låg produktivitet. Den troligaste anledningen till detta är att en förare glömt att rapportera in sin statistik när dennes skift slutat. Skördardatorn förblir då aktiv tills nästa skift tar vid (exempelvis efter en helg) och först då rapporteras data in. I dessa fall är den inrapporterade tiden felaktig och därför beräknades ingen produktivitet från sådana inrapporteringar. Volymen användes fortfarande för att möjliggöra beräkningar på det löpande skogslagret. Bortsättningsunderlagen prognostiserar att på en trakt med de sämsta förutsättningarna bör maskinerna ha en produktivitet strax under $2 \text{ m}^3\text{f}/G_0\text{-tim}$ (SCA 2006, 2011). Inrapporteringar som överskridit rimlig tid för en skiftgång (8 h) med en produktivitet $< 2 \text{ m}^3\text{f}/G_0\text{-tim}$, ansågs därför som felaktiga.
2. För vissa skotare fanns inrapporteringar med en stor volym i förhållande till en väldigt liten tidsåtgång och få skotarlass. Det kunde exempelvis förekomma att en skotare rapporterat in transport av $240 \text{ m}^3\text{f}$ på två G_0 -timmar. I samband med detta har det rapporterats att volymen transporterats på enbart fyra lass, det vill säga $60 \text{ m}^3\text{f}$ per lass. Dessa värden är helt orimliga eftersom produktiviteten är orimligt hög och det finns ingen skotare som kan transportera så stora lass. Det har alltså blivit något fel. Volymen användes fortfarande för att möjliggöra beräkningar på det löpande skogslagret. Dock beräknades ingen produktivitet eftersom tidsåtgången inte är rimlig. För att identifiera denna typ av felaktigt data sorterades inrapporteringarna efter storlek på skotarlassen. Den största skotaren på marknaden idag heter Tigercat 1085b och har en lastkapacitet på 25 ton (Tigercat 2015). Vikten av 25 ton rundvirke motsvarar i volym ungefär $31,5 \text{ m}^3\text{f}$ (Skogsstyrelsen 1993). Den största skotaren idag kan alltså sett till sin lastkapacitet, lasta max $31,5 \text{ m}^3\text{f}$ per lass. I praktiken kan det dock vara svårt att lasta så mycket på ett och samma skotarlass, på grund av begränsningar i lastutrymmets volym. En stor skotare med en lastkapacitet på 20-25 ton bör därför normalt kunna lasta ungefär $25 \text{ m}^3\text{f}$ rundvirke. Inrapporteringar med skotarlass $< 25 \text{ m}^3\text{f}$ har därför ansetts som rimliga. Inrapporteringar med skotarlass mellan $25\text{-}31,5 \text{ m}^3\text{f}$ granskades noggrant efter maskinmodell och storlek, för att undersöka om tidsåtgången och produktiviteten också var orimlig. Samtliga inrapporteringar med skotarlass $> 31,5 \text{ m}^3\text{f}$ ansågs vara orimliga. Det bör dock poängteras att inrapporteringar med skotarlass $> 25 \text{ m}^3\text{f}$ var ovanliga, och de flesta sådana inrapporteringar hade väldigt höga värden på skotarlass ($> 40 \text{ m}^3\text{f}$).

Studien omfattade 21 maskinlag som arbetat i Västerbottens län under studieperioden. Både gallrings- och slutavverkningslag ingick i studien såväl som SCA Skogs egna maskinlag samt kontrakterade privata entreprenörer. För varje maskinlag erhöles två dataset att analysera, ett för skördaren och ett för skotaren, det vill säga totalt 42 dataset. Resultatet har delats upp i gallringslag, slutavverkningslag och kombinerade gallrings- och slutavverkningslag (kombilag). Valet grundar sig i att maskinerna generellt arbetar med mindre volymer i gallring och därmed kommer också produktivitet och skogslagrets storlek att skilja sig mot ett slutavverkningslag. Gallringslagen arbetade i snitt cirka 70 % av arbetstiden med gallringar och 30 % med slutavverkningar. Slutavverkningslagen arbetade enbart med slutavverkningar. Kombilagen arbetade ungefär 50 % av arbetstiden med gallring och 50 % med slutavverkning. Av de 21 analyserade maskinlagen var tio stycken gallringslag, nio stycken slutavverkningslag och två stycken kombilag.

Beräkning av löpande skogslager

Innan det löpande skogslagret kunde beräknas identifierades först det ingående skogslagret. Denna volym betecknas " S_0 " och symboliserar skogslagrets volym vid " t_0 ", alltså det ingående skogslagret för studieperioden som började den 1:a september 2014. Det ingående skogslaget beräknades genom att först visuellt analysera inrapporteringar mellan 15:e- 31:a augusti 2014, alltså ungefär två veckor innan studieperioden. Inom denna tidsperiod identifierades en brytpunkt där skördaren gjorde sin sista inrapportering för ett visst avlägg för att sedan flytta vidare till ett nytt avlägg som kan kallas för avlägg "x". När skotaren väl flyttat till avlägg "x" erhålls ett utgångsvärde på skogslagret. Det utgörs av den volym skördaren hunnit rapportera från och med att den börjat arbeta i avlägg "x" tills dess att skotaren flyttat dit. S_0 kunde beräknas från utgångsvärdet genom att addera de volymer som skördaren producerat och subtrahera de volymer som skotaren producerat fram till den 1:a september.

Utifrån S_0 kunde sedan ett löpande skogslager beräknas för varje enskild dag. Den dagliga volym som skördaren rapporterade in adderades till skogslagret och den dagliga volymen som skotaren rapporterade in subtraherades från skogslagret enligt

$$S_t = S_{t-1} + (U_t - T_t) \quad (\text{m}^3\text{f}) \quad [1]$$

där "S" är det aktuella skogslagret, "U" är skördarens upparbetade volym, "T" är skotarens uttransporterade volym och "t" är aktuell dag (>0). Ekvation 1 beräknar det löpande skogslagret eftersom den hela tiden tar hänsyn till föregående dygns skogslager.

Det uppkom dock två problem i samband med beräkningen av det löpande skogslagret. Det första problemet var att maskinlag ibland löstes upp kortvarigt för att arbeta på andra avlägg som understöd till andra maskinlag. Som en följd av detta kunde skördaren och skotaren ha rapporterat in volymer från avlägg som inte var gemensamma för båda maskinerna. Eftersom de avläggen inte var gemensamma innebar det att den bearbetade volymen från dessa bestånd inte påverkade maskinlagets skogslager och de hör därför inte hemma i den här studien. Inrapporteringar som inte härstammade från gemensamma avlägg togs därför bort.

Det andra problemet var att den totala inrapporterade volymen per avlägg var olika för skördaren och skotaren, vanligen mellan $\pm 10 \%$. En orsak till skillnaderna kan vara att skotaren inte mäter lika exakt som skördarens stockmätning, utan använder sig av medelvärden med hjälp av omvandlingstal för varje lass/trave. En annan orsak kan vara att stockar "tappas bort" vilket gör att de inte blir transporterade till bilväg. Borttappade stockar är framförallt vanligt under vintern då stockar riskerar att bli översnöade.

För att hantera detta krävdes en referensvolym som var säker. Inmätt volym är ett värde som erhålls efter att stockarna mätts in vid industri. Det anses som ett säkert värde på volymen och är också det som skogsägaren får betalt för. Inmätt volym för varje avlägg sparas i SCA Skogs databas. Skördare mätte i snitt 1-5 % lägre än den inmätta volymen per avlägg och skotare mätte i snitt 3-6% lägre än den inmätta volymen.

För att få säkrare värden på den inrapporterade volymen justerades den för att stämma överens med den inmätta volymen. Först summerades skördarens respektive skotarens totala inrapporterade volym för varje enskilt avlägg. Den totala inmätta volymen för varje avlägg dividerades sedan med den totala inrapporterade volymen för varje avlägg enligt

$$KV_{ma} = (IMV_a / IRV_{ma}) \quad (\text{enhetslös}) \quad [2]$$

där "KV" är kvoten mellan inmätt och inrapporterad volym, "IMV" är den inmätta volymen, "IRV" är den inrapporterade volymen, "m" är maskin och "a" är avlägg. Kvoten är ett mått som beskriver hur mycket den inrapporterade volymen skiljer sig i förhållande till den inmätta volymen. Skördaren och skotaren fick alltså varsin korrigeringskvot för varje enskilt avlägg.

Korrigeringskvoten "KV" för varje maskin och avlägg multiplicerades sedan med samtliga inrapporteringar för respektive maskin och avlägg. Ekvation 1 kan tillsammans med ekvation 2 beskrivas mer utförligt enligt

$$S_t = S_{t-1} + \sum_a (U_{ta} \times KV_{ha}) - \sum_a (T_{ta} \times KV_{fa}) \quad (m^3f) \quad [3]$$

där "S" är det aktuella skogslagret, "U" är den upparbetade volymen av skördaren, "T" är den uttransporterade volymen av skotaren, "KV" är kvoten mellan inmätt och inrapporterad volym, "t" är dag (>0), "h" är skördare, "f" är skotare och "a" är avlägg. Genom att summera över alla "a" tar ekvation 3 hänsyn till att maskinerna kan arbeta i mer än ett (1) avlägg per dygn.

Ett problem som uppstod var att maskinlag ibland tog hjälp av en hjälpmaskin för vissa avlägg. Det resulterade i att den inrapporterade volymen för den studerade maskinen som fick hjälp blev mycket lägre än den inmätta volymen för samma avlägg. Det gav extremt stora värden på korrigeringskvoten och därmed orimliga korrigerade värden. Valet gjordes därför att ta bort inrapporteringar som gjorts på avlägg där en maskins inrapporterade volym var ≥ 2 gånger större än dess lagkamrat. Totalt togs cirka 2,9 % av maskinernas inrapporteringar bort eftersom hjälpmaskiner antogs ha varit inblandade där (Bilaga 2, Tabell B1).

Beräkning av relativ prestationskvot

Den relativa prestationskvoten är ett uttryck som beskriver en maskins faktiska produktivitet i relation till dess förväntade produktivitet (normproduktivitet). De variabler som krävs för att beräkna en maskins (m) dygnsvisa relativa prestationskvot är faktisk prestation per dygn (ekvation 4) samt normprestation per dygn (ekvation 5). Den faktiska produktiviteten (P) beräknades genom att dividera total inrapporterad volym (V) för aktuellt dygn (t) med antal inrapporterade G₀-timmar (H) under samma dygn. Normproduktiviteten för varje avlägg (a) finns beräknad och lagrat i en av SCA Skogs databaser som sammanställer inrapporteringsdata, och behövde alltså inte kalkyleras

manuellt. Normproduktiviteten är där beräknad via ett bortsättningsunderlag. En faktor som försvårade beräkningen av den dygnsvisa normproduktiviteten var om en maskin under ett och samma dygn gjorde flera inrapporteringar för olika avlägg. Det ger naturligt två (eller fler) olika värden på normproduktiviteten för aktuell maskin under samma dygn. Lösningen på problemet blev att respektive normproduktivitet för de olika avläggen viktades mot den uttagna volymen för varje avlägg under aktuellt dygn i relation till den totala inrapporterade volymen per maskin under samma dygn. Genom att addera dessa erhöles ett viktat medelvärde för normproduktiviteten för aktuell maskin under aktuellt dygn (ekvation 5).

$$P_{tm} = (V_{tm} / H_{tm}) \quad (m^3f/G_0\text{-tim}) \quad [4]$$

$$N_{tm} = \frac{\sum_a (N_{ma} \times V_{tma})}{V_{tm}} \quad (m^3f/G_0\text{-tim}) \quad [5]$$

I ekvation 5 är "N" normproduktiviteten, "V" är den inrapporterade volymen, "t" är dag (>0), "m" är maskin och "a" är avlägg.

Den relativa prestationskvoten (Q) kan med hjälp av ekvation 4 och 5 beräknas för varje dygn och maskin (ekvation 6). Kvoten beskriver en maskins faktiska prestation i relation till vad den förväntats prestera.

Skälet till att denna kvot användes var för att få ett värde på den dygnsvisa produktiviteten som är oberoende av de beståndsmässiga faktorerna. Eftersom man redan vet om att bestandsvariabler påverkar maskinernas produktivitet måste dessa faktorer kompenseras för, vilket denna kvot gör. Det går därför med hjälp av denna kvot att jämföra prestationer mellan olika avlägg och maskinlag.

$$Q_{tm} = P_{tm} / N_{tm} \quad (\text{enhetslös}) \quad [6]$$

Beräkningen av kvoten beskrivs i ekvation 6 och kortfattat kan resultat från den tolkas som följande:

- Om $Q_{tm} = 1$ har maskinen producerat lika bra under dygnet som normen prognostiserade.
- Om $Q_{tm} < 1$ har maskinen producerat sämre under dygnet än vad normen prognostiserade.
- Om $Q_{tm} > 1$ har maskinen producerat bättre under dygnet än vad normen prognostiserade.

För att göra alla beräkningar och sammanställa data i lämpligt analysformat utvecklades en programmeringsmodell i Excel som utförde samtliga beräkningar automatiskt.

Programmeringsmodellen byggde på "boolesk algebra" i kombination med villkorsstyrd summering (Björner & Eriksson 2015).

Analys

Data analyserades uppdelat i fyra huvudgrupper:

- Skördare slutavverkning
- Skotare slutavverkning
- Skördare gallring/kombilag
- Skotare gallring/kombilag

Först illustrerades den löpande utvecklingen av skogslagret under studieperioden för varje maskinlag. Tanken var att försöka illustrera maskinlagens arbetsmönster för att på så sätt kunna se om det fanns generella trender och olikheter angående hur maskinlagen väljer att sköta skogslagret under olika delar på året.

Analyserna på maskinernas relativa produktivitet i förhållande till skogslagrets storlek genomfördes som linjära regressioner med hjälp av statistikprogrammet Minitab. Ett resultat med ett p-värde $< 0,05$ har ansetts som ett signifikant samband i analyserna.

Först och främst gjordes analyser på dygnsnivå. Varje maskins beräknade värden på dess relativa produktivitet jämfördes mot skogslagrets storlek vid samma tidpunkt. Varje färdigarbetat dataset innehöll mellan 150 - 300 värden beroende på hur många av dagarna i studieperioden som aktuell maskin gjort en inrapportering. I varje dataset påträffades 0-4 outliers som hade orimligt hög relativ prestationskvot (Bilaga 2, Tabell B1). Observationer där "Q" > 3 plockades bort för att göra regressionsanalysen säkrare.

Som ett komplement till analyserna på dygnsnivå gjordes också analyser på maskinernas medianvärden för deras respektive relativa prestationskvot under studieperioden. Denna medianprestation analyserades i förhållande till maskinens medianvärde på skogslagret under studieperioden. Syftet med analyserna av medianvärdena var att undersöka om de generella skogslagnivåerna var korrelerade med de generella relativa produktivitetsnivåerna.

Resultat

Löpande utveckling av skogslagret

Maskinlagen uppvisade en stor variation i arbetsmönster med avseende på lagerstorlek och förändringar (Bilaga 1, Figur B1-B4). Den högsta nivån på skogslagret inom gallrings/kombilagen varierade mellan cirka 550-3500 m³f. Den högsta nivån på skogslagret inom slutavverkningslagen varierade mellan cirka 1800-4500 m³f. Det som var gemensamt för flera maskinlag var att de ofta sänkte skogslagret så mycket som möjligt under juli månad (dag 203-234). Valet grundar sig troligen till stor del på de lagkrav som finns mot att låta fällt virke ligga för länge under sommarsäsongen då risken för skadeinsekter är stor. Dessutom väljer flera maskinlag att hålla skogslagret lågt under en del av den mest snörika månaden (januari, dag 123-154). Beslutet beror antagligen på att det är lätt hänt att stockar snöar över under denna period. Ett större skogslager är svårare att hålla koll på och därmed enklare att tappa bort stockar vid snöfall.

För att kunna förklara de övriga topparna och fallen måste man se till maskinlagens individuella förutsättningar för att kunna förstå arbetsmönstret.

Samband mellan skogslagret och den relativa produktiviteten

Nedan har maskinerna tilldelats nummer för att visa vilken skördare som har följts av vilket skotare. Som exempel var gallringsskördare 1 lagkamrat med gallringsskotare 1 och slutavverkningskördare 5 var lagkamrat med slutavverkningskotare 5.

Gallringslag

För sex av de tio skördarna kunde det inte påvisas något signifikant samband mellan skogslagrets storlek och den relativa prestationskvoten (Tabell 1, Figur 3). För fyra av skördarna fanns dock starkt signifikanta ($p < 0,01$) samband, men med mycket låg förklaringsgrad (R^2 mellan 4,2–8,5 %). För dessa skördare fanns en svag trend att den relativa prestationskvoten ökade med ökande skogslager.

Tabell 1: R^2 och p-värden från de linjära regressionsanalyserna av samband mellan skogslagervolym och den relativa prestationskvoten för skördare i gallring (figur 3).

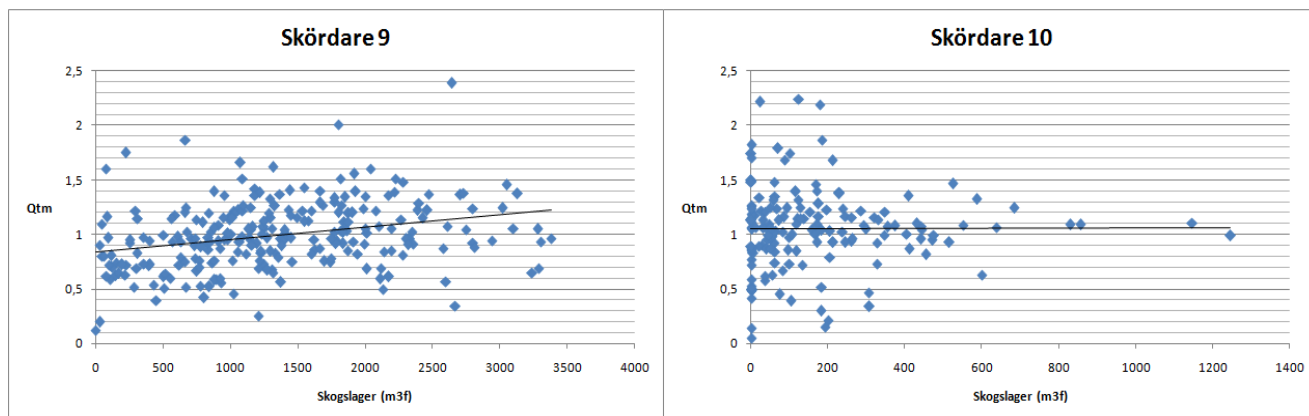
Table 1. R^2 and p-values from the linear regression analyses between the volume of harvested, but not yet forwarded, volume and the relative performance quota, for harvesters in thinning operations (figure 3).

	Skördare									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$R^2(\%)$	0,0	5,1	6,6	0,8	0,5	4,2	0,3	0,7	8,5	0,0
p-värde	1,000	0,008	<0,001	0,211	0,372	0,004	0,435	0,183	<0,001	0,974



Figur 3. Samband mellan skogslagervolym och den relativa prestationskvoten (Q_{tm}) för gallringsskördare. Regressionslinjernas p- & R^2 -värden presenteras i tabell 1.

Figure 3. Correlation between the volume of harvested, but not yet forwarded, volume and the relative performance quota (Q_{tm}) for harvesters in thinning operations. The p- & R^2 -values for each linear equation are presented in table 1.



Figur 3.Fortsättning

Figure 3. Continued

För sju av de tio skotarna kunde det inte påvisas något signifikant samband mellan skogslagrets storlek och den relativa prestationskvoten (Tabell 2, Figur 4). För tre av skotarna fanns dock starkt signifikanta ($p < 0,01$) samband, men med mycket låg förklaringsgrad (R^2 mellan 4,1–7,2 %). För två av dessa skotare fanns en svag trend att den relativa prestationskvoten ökade med ökande skogslager. För den tredje skotaren fanns en svag trend att den relativa prestationskvoten minskade med ökande skogslager.

Tabell 2: R^2 och p -värden från de linjära regressionsanalyserna av samband mellan skogslagervolym och den relativa prestationskvoten för skotare i gallring (figur 4).

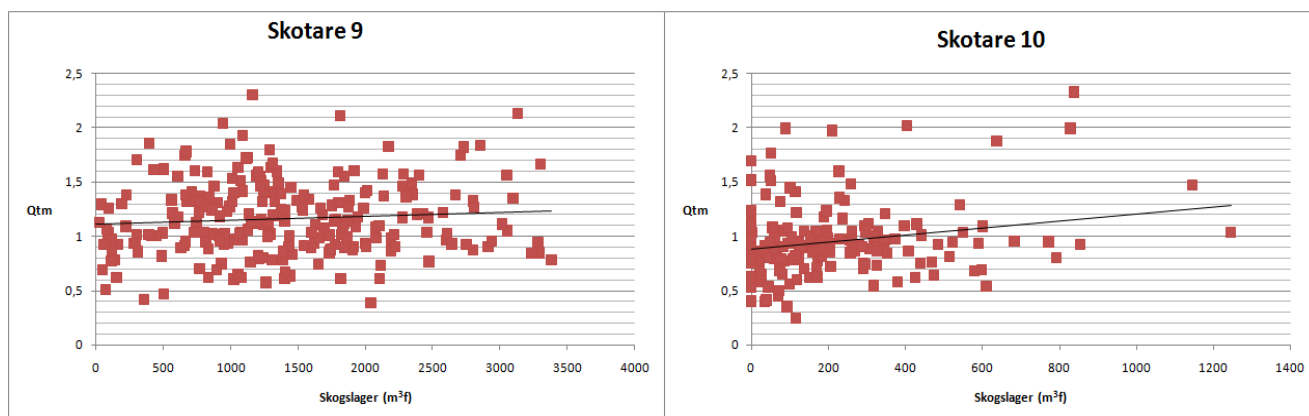
Table 2. R^2 and p -values from the linear regression analyses between the volume of harvested, but not yet forwarded, volume and the relative performance quota, for forwarders in thinning operations (figure 4).

	Skotare									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R^2 (%)	0,8	0,1	1,3	4,1	0,2	0,1	7,2	0,0	0,6	4,9
p -värde	0,169	0,674	0,104	0,003	0,573	0,679	<0,001	0,938	0,222	0,002



Figur 4. Samband mellan skogslagervolym och den relativa prestationskvoten (Q_{tm}) för gallringsskotare. Regressionslinjernas p- & R^2 -värden presenteras i tabell 2.

Figure 4. Correlation between the volume of harvested, but not yet forwarded, volume and the relative performance quota (Q_{tm}) for forwarders in thinning operations. The p- & R^2 -values for each linear equation are presented in table 2.



Figur 4. Fortsättning.

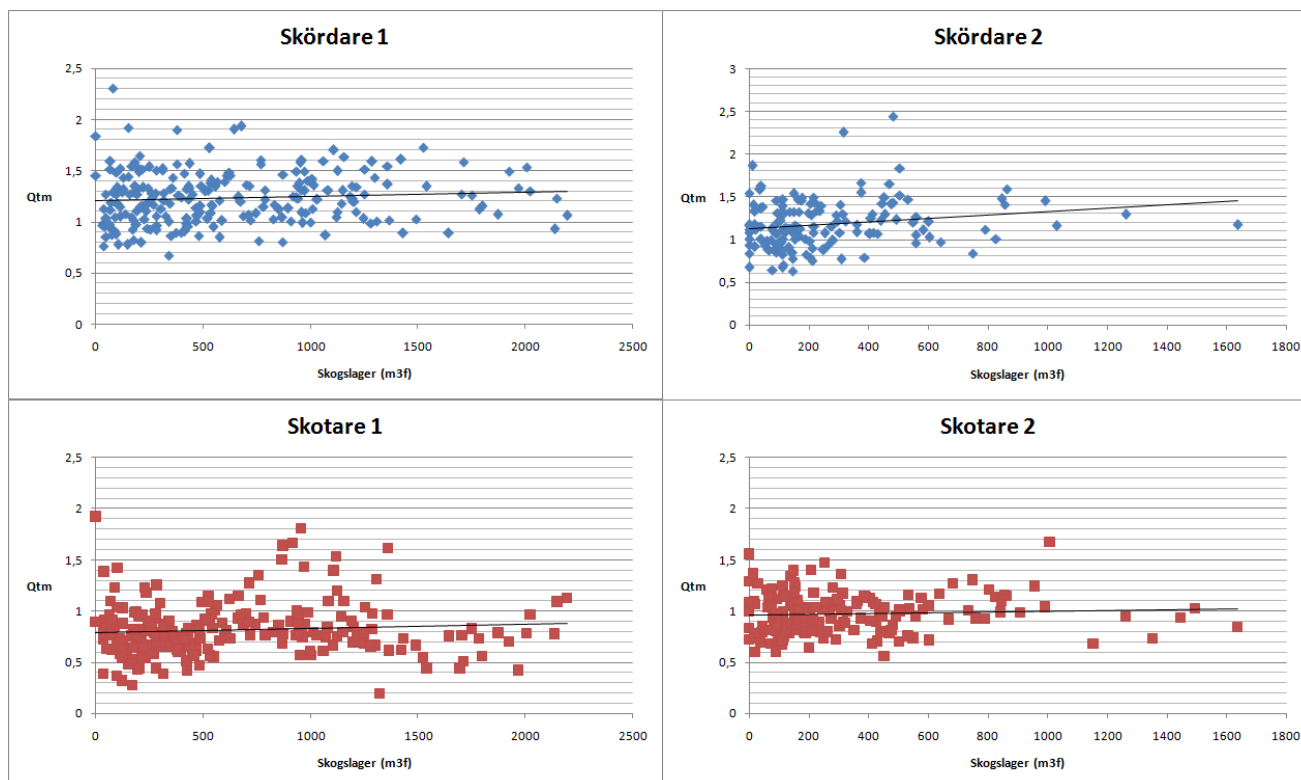
Figure 4. Continued.

Kombilag

För tre av de fyra maskinlagen som kombinerade gallring och slutavverkning kunde det inte påvisas något signifikant samband mellan skogslagrets storlek och den relativa prestationskvoten (Tabell 3, Figur 5). För en av kombimaskinerna fanns dock ett signifikant ($p < 0,05$) samband, men med mycket låg förklaringsgrad ($R^2 = 3,2\%$). För denna maskin fanns en svag trend att den relativa prestationskvoten ökade med ökande skogslager.

Tabell 3: R^2 och p-värden från de linjära regressionsanalyserna av samband mellan skogslagervolym och den relativa prestationskvoten för skördare och skotare i kombilag (figur 5).
Table 3. R^2 and p-values from the linear regression analyses between the volume of harvested, but not yet forwarded, volume and the relative performance quota, for harvesters and forwarders in 50 % thinning and 50 % final felling operations (figure 5).

	Skördare		Skotare	
	Skördare 1	Skotare 1	Skördare 2	Skotare 2
R^2 (%)	0,7	0,6	3,2	0,3
p-värde	0,211	0,230	0,019	0,461



Figur 5. Samband mellan skogslagervolym och den relativa prestationskvoten (Q_{tm}) för skördare och skotare i kombilag. Regressionslinjernas p - & R^2 -värden presenteras i tabell 3.

Figure 5. Correlation between the volume of harvested, but not yet forwarded, volume and the relative performance quota (Q_{tm}) for harvesters and forwarders in 50 % thinning and 50 % final felling operations. The p - & R^2 -values for each linear equation are presented in table 3.

Slutavverkningslag

För sex av de nio skördarna kunde det inte påvisas något signifikant samband mellan skogslagrets storlek och den relativa prestationskvoten (Tabell 4, Figur 6). För tre av skördarna fanns dock signifikanta ($p < 0,05$) samband, men med mycket låg förklaringsgrad (R^2 mellan 1,9–6,5 %). För dessa skördare fanns en svag trend att den relativa prestationskvoten ökade med ökande skogslager.

Tabell 4: R^2 och p -värden från de linjära regressionsanalyserna av samband mellan skogslagervolym och den relativa prestationskvoten för skördare i slutavverkning (figur 6).

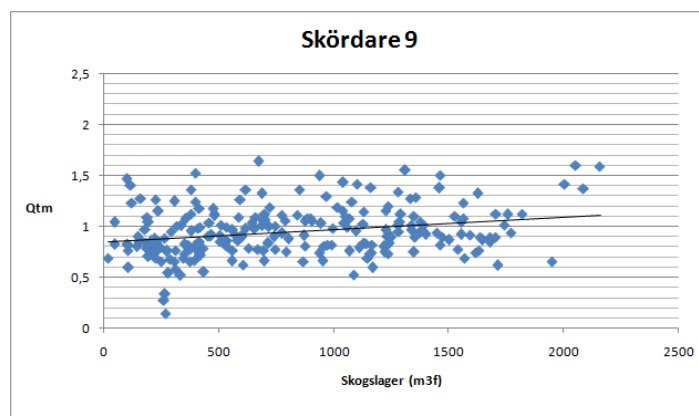
Table 4. R^2 and p -values from the linear regression analyses between the volume of harvested, but not yet forwarded, volume and the relative performance quota, for harvesters in final felling operations (figure 6).

	Skördare								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
R^2 (%)	1,9	0,5	0,0	5,1	0,6	0,9	1,5	0,1	6,5
p -värde	0,037	0,362	0,848	0,001	0,305	0,232	0,094	0,712	<0,001



Figur 6. Samband mellan skogslagervolym och den relativa prestationskvoten (Q_{tm}) för skördare i slutavverkning. Regressionslinjernas p - & R^2 -värden presenteras i tabell 4.

Figure 6. Correlation between the volume of harvested, but not yet forwarded, volume and the relative performance quota (Q_{tm}) for harvesters in final felling operations. The p - & R^2 -values for each linear equation are presented in table 4.



Figur 6.Fortsättning.

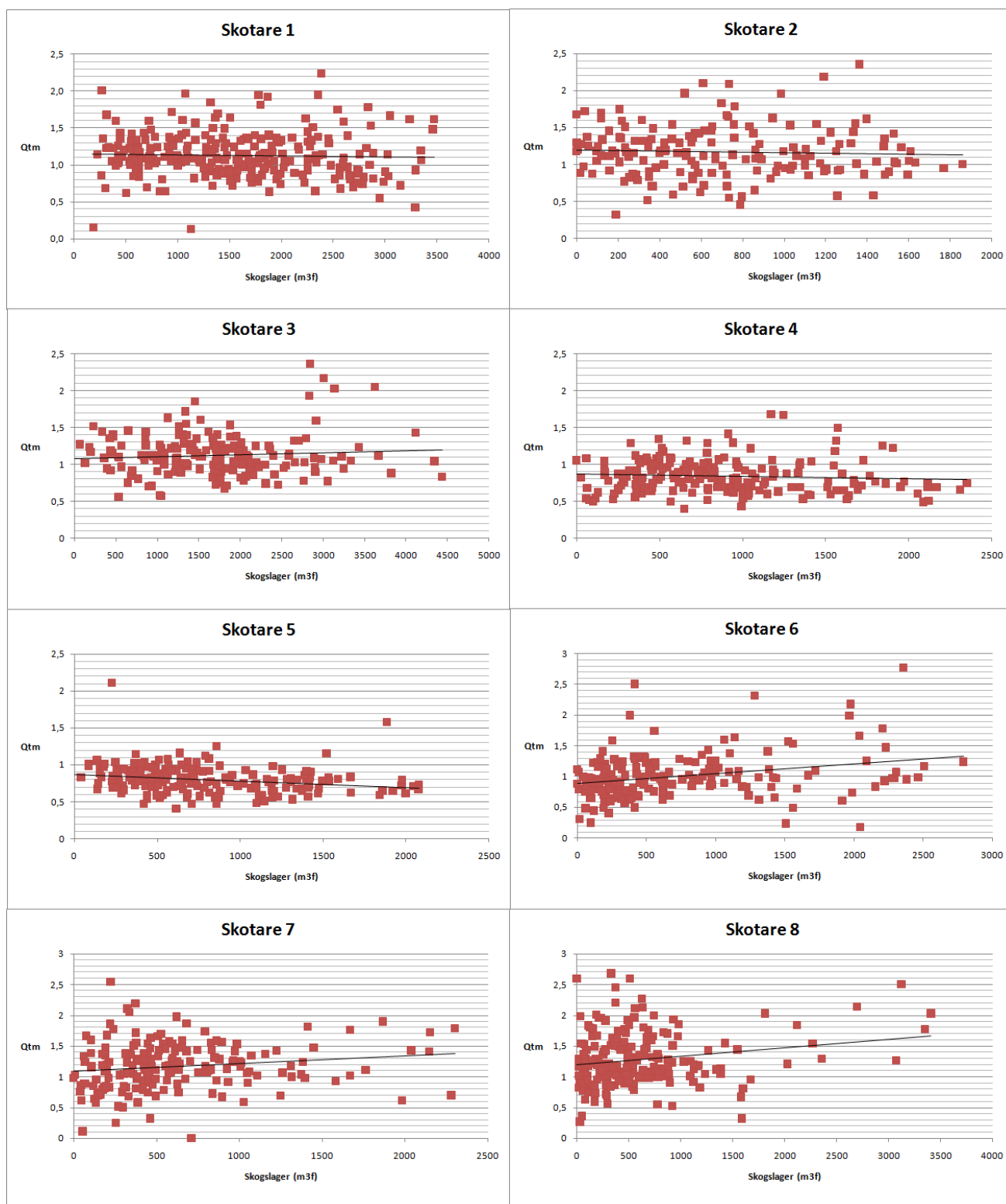
*Figure 6.*Continued.

För fem av de nio skotarna kunde det inte påvisas något signifikant samband mellan skogslagrets storlek och den relativa prestationskvoten (Tabell 5, Figur 7). För fyra av skotarna fanns dock signifikanta ($p < 0,05$) samband, men med mycket låg förklaringsgrad (R^2 mellan 2,3–7,7 %). För tre skotare fanns en svag trend att den relativa prestationskvoten ökade med ökande skogslager. För en skotare fanns en svag trend att den relativa prestationskvoten minskade med ökande skogslager.

Tabell 5: R^2 och p-värden från de linjära regressionsanalyserna av samband mellan skogslagervolym och den relativa prestationskvoten för skotare i slutavverkning (figur 7).

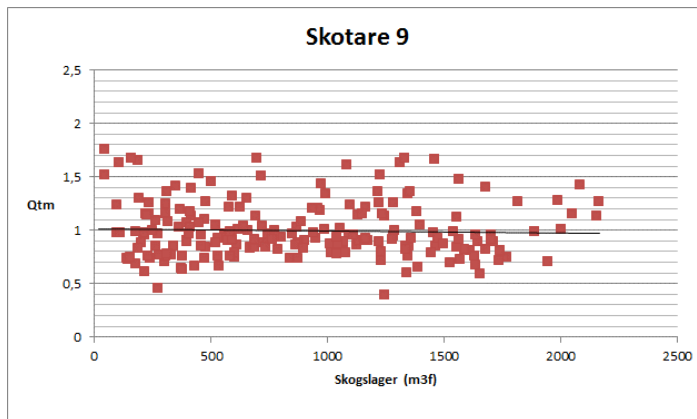
Table 5. R^2 and p-values from the linear regression analyses between the volume of harvested, but not yet forwarded, volume and the relative performance quota, for forwarders in final felling operations (figure 7).

	Skotare								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
R^2 (%)	0,1	0,2	0,6	0,5	4,9	7,7	2,3	3,6	0,1
p-värde	0,535	0,548	0,300	0,332	0,003	<0,001	0,041	0,006	0,586



Figur 7. Samband mellan skogslagervolym och den relativa prestationskvoten (Q_{tm}) för skotare i slutavverkning. Regressionslinjernas p - & R^2 -värden presenteras i tabell 5.

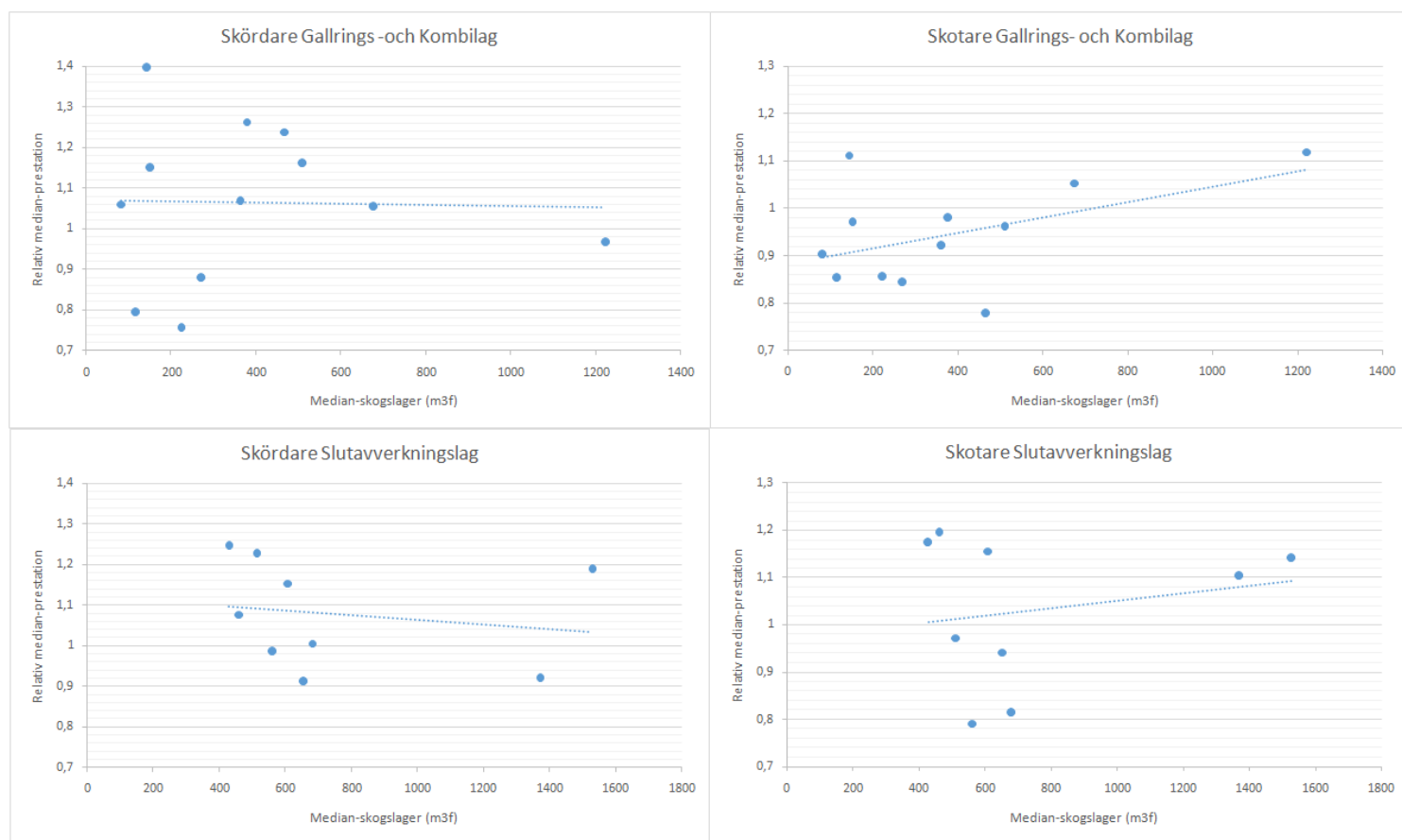
Figure 7. Correlation between the volume of harvested, but not yet forwarded, volume and the relative performance quota (Q_{tm}) for forwarders in final felling operations. The p - & R^2 -values for each linear equation are presented in table 5.



Figur 7. Fortsättning.
Figure 7. Continued.

Samband mellan skogslagrets medianstorlek och relativ medianprestation

I figur 8 har medianstorleken på skogslagret inom maskinlagen under studieperioden testats mot varje maskins relativa medianprestation för att kunna ge svar på om maskinerna presterar bättre/sämre med en högre medianvolym på skogslagret. Resultaten uppvisade en stor variation i relativ medianprestation vid ett givet medianskogslager. Inga statistiska samband kunde påvisas i någon av de fyra analyserna ($p > 0,05$). Det lägsta p-värdet hade skotare gallring ($p = 0,11$), övriga tre analyser hade ett p-värde $> 0,8$.



Figur 8. Samband mellan skogslagrets medianstorlek och den relativa medianprestationen för skördare och skotare i gallrings- och kombilag samt slutavverkningslag.

Figure 8. Correlation between the median volume of harvested, but not yet forwarded, volume and the median of the relative performance for harvesters and forwarders in thinning & final felling operations.

Diskussion

Utveckling av det löpande skogslagret

Det presenterade löpande skogslagret visar vad för slags underlag som går att skapa från inrapporteringsdata. Det ger en väldigt detaljerad bild av hur maskinslagens arbetsmönster har sett ut i form av exempelvis hur många gånger skotaren har kommit ikapp skördaren. Diagram på det löpande skogslagret skulle kunna vara intressant för exempelvis produktionsledare. En produktionsledare som vet vilka förutsättningar varje maskinlag har skulle kunna koppla mönster från diagrammen med sina erfarenheter. Det skulle kunna vara ett bra underlag för produktionsledare för att kunna anpassa och utveckla maskinlagens arbete samt produktionsledarens val av trakter. Alla entreprenörer kanske inte alltid har haft full vetskap om avståndet mellan skördare och skotare och kan därför vara ett underlag för utveckling av drivningsstrategier.

Regressionsanalyser

Regressionsanalyserna påvisade samband mellan skogslagets storlek och den relativa prestationen för 15 av 42 maskiner som återfanns i gallringslag, kombilag och slutavverkningslag. Vad som dock bör poängteras är att det högsta R^2 -värdet som påträffades för samtliga samband var 8,5 % (gallringsskördare 9). Det innebär att skogslagrets storlek maximalt kan förklara 8,5 % av variationen i relativ produktivitet för studiens maskiner. Av de 15 maskinerna med signifikanta samband ($p < 0,05$) var sambandet positivt för 13, vilket innebär att den relativa prestationskvoten ökade med ökande skogslager. Det innebär att dessa maskiner presterade högre än förväntat ju större skogslagret var. Åtta av dessa var skördare och samtliga hade ett positivt samband. Enligt hypotesen som legat till grund för arbetet förväntades resultatet bli tvärtom, alltså att skördarnas relativa prestationskvot skulle sjunka med ökande skogslager på grund av att skördarförarna inte skulle vilja dra ifrån skotaren (figur 1). Frågan är då varför hypotesen inte alls stöds av resultatet. Att åtta stycken skördare har en ökande relativ prestation med ökande skogslager kan röra sig om psykologiska faktorer, i form av att dessa skördarförare arbetar bättre när skotaren är långt bakom och stressnivån är låg. Ett mer trovärdigt resonemang går att härleda via den konceptuella modellen från material och metoder (figur 2). Den konceptuella modellen beskriver att skogslagrets storlek kan påverka den relativa prestationen, men den relativa prestationen kan i sin tur påverka skogslagret. Om exempelvis en skördare producerar bättre än prognosen ($Q_{tm} > 1$) kommer skördaren därmed producera en större volym under kortare tid. En ökad inrapporterad volym kommer automatiskt att leda till ett högre skogslager (under förutsättning att skotaren inte också ökar sin relativa produktivitet i exakt proportionerlig grad till skördaren). I och med denna komplexitet blir det svårt att tolka skördarnas resultat. Vad påverkade egentligen vad först?

Att inte alla analyserade skördare uppvisade samband mellan skogslagrets storlek och den relativa prestationen tyder på att det inte är några allmängiltiga samband. Sambanden som påvisats borde till stor del bero på föregående resonemang; att skogslagret ökar när skördarens relativa prestation ökar. Det kan givetvis bero på individuella personliga faktorer hos förarna också. Därför är det svårt att dra slutsatser om vad det beror på. Det man dock säkert kan säga är att skogslagrets storlek inte har inverkan på alla skördare, utan kan variera från maskin till maskin.

Sju skotare påvisade signifikanta samband mellan skogslagrets storlek och den relativa prestationen. För fem skotare påvisades positiva samband, alltså att skotarens relativa prestation ökade med ökande skogslager. Dessa maskiner presterade bättre än förväntat ju större skogslaget var. Det stämmer väl överens med hypotesen (figur 1). När avståndet till skördaren börjar bli för stort ökar skotaren sin arbetstakt och producerar därmed bättre för att kunna hinna ikapp och undvika exempelvis borttappade stockar och översnöat virke. Vad som bör nämnas är dock att skogslaget för dessa fem skotare endast förklarar mellan 2,3 % -7,7 % av variationen i data. Skogslaget påverkar alltså bara den relativa produktionskvoten till en liten del. Storleken på skogslaget är därmed långt ifrån hela förklaringen till variationen hos de undersökta maskinernas relativa prestation (se andra möjliga faktorer i figur 2).

För två skotare påvisades ett negativt samband, alltså att den relativa produktionskvoten sjönk med ökande skogslager. Dessa maskiner presterade sämre än förväntat ju större skogslaget var, tvärt emot studiens hypotes (figur 1). Att två skotare visade ett negativt samband beror troligen på samma teorier som kan förklara skördarnas resultat, härledda från den konceptuella modellen (figur 2), alternativt individuella psykologiska faktorer. Om skotaren av någon anledning producerar bättre än prognosen kommer skotaren att transportera ut en större volym virke under en kortare tid. Det leder troligen också till att skotaren behåller/tar in avståndet till skördaren vilket resulterar i ett mindre skogslager. Att skotaren däremot producerar sämre vid högre skogslager kan helt enkelt bero på att maskinen tappat i produktivitet av andra orsaker som gjort att den tappat i avstånd och därmed ökat skogslaget.

Analyserna för skördare och skotare visade att det varken fanns entydiga eller förväntade resultat. Detta kan givetvis bero på att den uppställda hypotesen inte stämmer, men det kan också bero på att använt data varit för lågupplöst och/eller innehållit felaktigheter (brus) av sådan storlek att det dolt eventuella samband. Data i studien som kan leda till felaktiga resultat är inrapporterad volym, antal G_0 -timmar (tid) samt beräknad normproduktivitet.

Osäkerheter i inrapporterad volym

Maskinernas inrapporterade volym kan inte anses som säker i sig eftersom den totala volymen per avlägg nästan aldrig överensstämde fullt med den vid industri, inmätta volymen per avlägg. Generellt sett skiljde sig den inrapporterade volymen per avlägg inte mer än $\pm 10\%$ mot inmätt volym per avlägg, men i extremfall var skillnaden $\pm 25\%$. Skotarens inrapporteringar var generellt mer avvikande från den inmätta volymen än skördarens. Det beror troligen på att skotares mätningar inte är lika exakta som skördares eftersom de inte mäter volymen för varje stock utan för varje skotarlass. Den inrapporterade volymen per avlägg är alltså inte säker i sig, men eftersom den i studien är korrigerad efter inmätt volym per avlägg bör volymerna som använts för beräkningarna anses som säkra värden. Dessutom har maskinernas volymer korrigerats mot ett gemensamt referensvärde.

En annan svårighet som uppkom var hanteringen av avlägg där ett maskinlag tagit hjälp av ett annat maskinlag, antingen genom en "hjälpmaskin" eller att två maskinlag delat på ett (stort) avlägg. Sådana avlägg kunde därför påvisa en väldigt stor skillnad mellan inrapporterad volym av aktuellt maskinlag och inmätt volym för hela avlägget. Det berodde på att volymen som det andra maskinlaget rapporterar in givetvis administreras som deras inrapportering. Om ett maskinlag som arbetat med ett avlägg där exempelvis en

hjälpsskotare använts kunde maskinlagets skotares inrapporterade volym i värsta fall vara 500 % mindre än avläggets inmätta volym. Att korrigera skotarens inrapporterade volymer efter inmätt volym för dessa avlägg skulle ge felaktiga värden på skogslagret och felaktiga värden på produktiviteten. Av den anledningen togs beslutet att inte ta med data för avlägg där skördarens och skotarens inrapporterade volymer skiljde sig alltför mycket.

Beräkningen av skogslagret tar därför inte hänsyn till exakt alla avlägg varje maskinlag har arbetat med under studieperioden, utan bara cirka 97 % av dem (Bilaga 2, Tabell B1). Om både skördaren och skotaren inom ett maskinlag hade en inrapporterad volym för ett avlägg som var cirka 100-200 % lägre än den inmätta volymen är det väldigt troligt att ett annat maskinlag hjälpt till med det avlägget. För att undvika att ta bort inrapporteringar gjordes valet att behålla dessa inrapporteringar med undantaget att de inte korrigerades efter den inmätta volymen. Istället korrigerades skotarens inrapporterade volym efter skördarens volym för avlägget som i dessa fall fick anses som den korrekta volymen. Skördaren mätte i snitt cirka 1-5 % lägre än inmätt volym. Volymen från ett fåtal avlägg som använts i studien kan därför antas vara cirka 1-5 % fel.

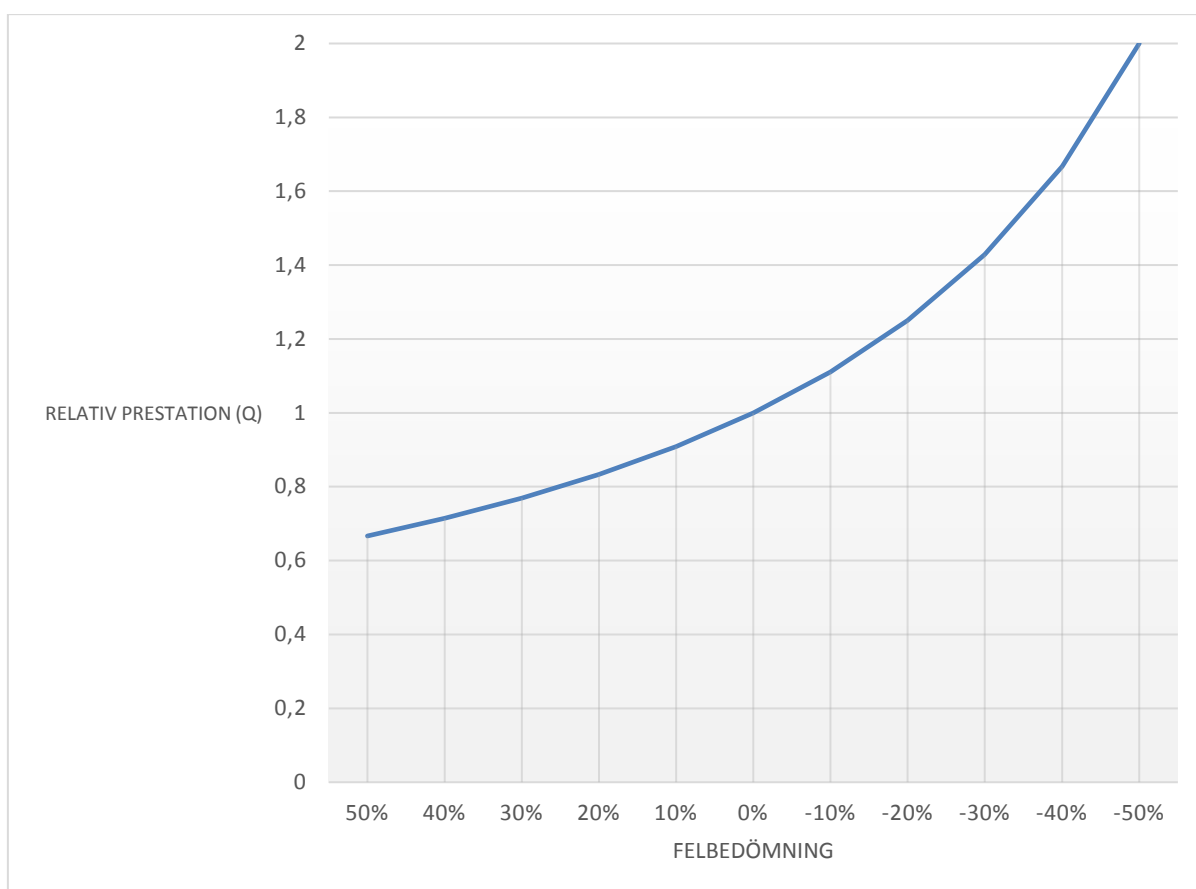
Osäkerheter i inrapporterad tid

Ett annat problem var att inrapporterade volymer kan bli "försenade", exempelvis på grund av att maskinen varit i drift dygnet runt under en viss period. Förarna kan då välja att rapportera in allt som en enda stor volym när denna period är över. Av denna anledning fanns inrapporteringar med stora volymer och långa tider som representerade en volym som producerats under flera dygn. Volymen och förbrukad tid var därmed korrekt men inte uppdelad per dygn som var önskemålet för studien. Värdet på produktiviteten kommer därför att spegla maskinens medelprestation under de ingående dagarna och inte dess faktiska prestation per dygn. Av den anledningen förloras detaljerat data under vissa dagar vilket bidrar till en viss osäkerhet i resultaten.

Osäkerheter i normen

Osäkerheter i normproduktiviteten är troligen den största felkällan i studien. Är normproduktiviteten felaktig påverkas den relativa prestationskvoten (Q) direkt. Normen beräknas som tidigare nämnt utifrån företagets bortsättningsunderlag. För att normproduktiviteten ska vara korrekt krävs att bortsättningsunderlagen ständigt uppdateras och korrigeras. För att påvisa vilken påverkan normproduktiviteten kan ha på den relativa prestationen har en känslighetsanalys gjorts (figur 9), i form av att beräkna hur den relativa prestationen påverkas beroende på hur mycket bortsättningsunderlaget felbedömt normprestationen. I figur 9 är den relativa prestationen lika med ett (1), om normprestationen är bedömd exakt rätt, alltså 0 % felbedömning. Maskinen har då presterat precis lika bra som normen prognostiserade. Om normen har överskattat den förväntade prestationen (felbedömning > 0 %) minskar värdet på den relativa prestationen. Funktionen planar ut ju högre överskattningen är. Om normen å andra sidan har underskattat den relativa prestationen (felbedömning < 0 %) ökar värdet på den relativa prestationen och stiger snabbt ju större underskattningen är. Oberoende av den faktiska prestationen kan felbedömningar på normprestationen påverka den relativa prestationen i hög utsträckning. Normprestationen är därför en stor felkälla i studien. För att veta hur stora fel som finns i de aktuella bortsättningsunderlagen eller i traktplaneringen krävs en studie som troligen är omfattande nog för att täcka ett eget examensarbete. SCA:s bortsättningsunderlag för

skördare är från 2006 och för skotare från 2011. Eftersom bortsättningsunderlagen inte är nyligt uppdaterade får man troligen räkna med en viss felbedömning i normprestationen. I en studie av Eriksson & Lindroos (2014) diskuterades kvalitén på standardiserad datainsamling. Det är svårt att få bra kvalitet vid insamling av stora mängder data eftersom en stor önskad kvantitet ofta hämmar kvalitén på insamlat data. Eriksson & Lindroos (2014) kom i sin studie fram till att mellan 11-16 % av bestånden som var inkluderade hade bristfälligt eller felaktigt data. Eftersom deras studie också använde sig av data från SCA Skog kan man misstänka att liknande fel finns i det dataset som använts i det här arbetet.



Figur 9. Känslighetsanalys som påvisar normproduktivitets påverkan på den relativa prestationen (Q).

Figure 9. Sensitivity analysis which illustrates how the predicted performance influence the relative performance quota (Q).

Osäkerheter i beräkningar

För att undvika osäkerheter i resultatet togs beslutet att inte göra beräkningarna manuellt. Vid manuell beräkning av stora dataset kan det vara väldigt enkelt att göra felberäkningar eftersom det handlar om flera tusen beräkningar per ark. Därför utvecklades en programmeringsmodell i Excel för att automatiskt beräkna samtliga intressanta variabler. Modellen har kontinuerligt testats för att se till att den utför korrekta beräkningar. Samtliga beräkningar i studien kan därmed anses säkra.

Analys av maskinlagens medianskogslager

Analysen av maskinlagens medianskogslager gentemot deras relativa medianprestation gav inga signifikanta resultat. Att skotare producerar sämre om skogslagret är 0 m³f är självklart eftersom det inte går att skota alls då. Dock är det fortfarande oklart hur mycket skördares och skotares prestation påverkas av generellt höga/låga skogslager. Att utöka denna analys och ta med flera lag skulle ge ett betydligt säkrare resultat och därmed en bättre förståelse för skotarnas och skördarnas dynamiska förutsättningar.

Vidare studier

Denna studie har belyst ett område som ännu inte är särskilt utforskat. Den relativa prestationen är ett bra mått för att mäta produktionspåverkande faktorer som inte bortsättningsunderlagen tar hänsyn till. Innan studien utfördes verkade upplösningen på dygnsnivå tillräcklig. Dock är skogslagret snabbt föränderligt och att analysera det på dygnsnivå kan bli för lågupplöst. För att få full förståelse för hur skogslagret påverkar maskinernas producerande förmåga är det troligen nödvändigt att försöka analysera maskinlagen per timme eller per skift. Eftersom det inte går att uppnå en sådan hög upplösning med inrapporteringsdata när detta arbete utfördes skulle en detaljerad fältstudie troligtvis behövas för att undersöka ämnet på djupet; det skulle dock krävas väldigt många arbetstimmar. Om det vore möjligt att få ut löpande data i realtid från skördare/skotare skulle ett exakt skogslager kunna räknas ut för varje minut under aktivt skift. En sådan studie skulle kunna ge ett mycket bra data att använda i analyser. Givetvis krävs det också att normerna är noggrant beräknade från bortsättningsunderlag som man vet är uppdaterade och stämmer väl överens med verkligheten med generell låg felbedömning. Dock har fält/realtidstudier också felkällor. Ett problem är den så kallade "Hawthorne-effekten", att människors producerande förmåga förändras när de blir iakttagna (Mayo 1933). Risken finns att data som insamlas när maskinförarna har kännedom om att de studeras, skiljer sig från hur vardagsprestationen ser ut då de inte är iakttagna.

Den konceptuella modellen (figur 1) som skapades i denna studie beskriver flera potentiella faktorer som kan påverka maskinernas relativa prestation. Eftersom resultaten i rapporten inte fullständigt förklarar variationen i dataseten måste det finnas andra förklaringar. Den konceptuella modellen skulle därför kunna fungera som en vägledning för vidare analyser där liknande dataset kan användas. Att få svar på vad variationerna i den relativa prestationen beror på kan öka förståelsen för dynamiska faktorer som kan påverka skogsmaskinernas produktivitet. Innan fortsatta studier genomförs är det dock viktigt att undersöka kvalitén på traktplaneringar och bortsättningsunderlag. Om bortsättningsunderlagen bedömer normen systematiskt felaktigt blir resultat från potentiella framtida studier väldigt osäkra.

Den viktigaste slutsatsen som kan dras från studien är att skogslagret kan påverka maskinproduktiviteten, om än i låg grad. Skogslagret är dock en faktor som inte verkar påverka alla maskiners produktivitet. En djupare förståelse för skogslagret kan erhållas genom vidare studier med högre upplösning.

Referenser

Andersson, S. (2004). Skogsteknik förr och nu. *Skogshistoriska sällskapets årsskrift 2004*.

Björner A, K Eriksson. *Boolesk algebra och booleska funktioner*, Institutionen för matematik, KTH. <https://people.kth.se/~boij/5B1118/Material/Boole.pdf> [2015-11-30]

Ek, B. (2013). Tips: Hitta översnöat virke. *Skogen*, Nr 1, <http://www.skogen.se/nyheter/tips-hitta-oversnoat-virke>

Eriksson, M, Lindroos, O. (2014). Productivity of harvesters and forwarders in CTL-operations in northern Sweden based on large follow-up datasets. *International Journal of Forest Engineering*, 25 (3): 179-200.

Lindroos, O (2010). Bestensystemets konkurrensförmåga: jämfört med vanligt skördare-skotaresystem. *Fakta. Skog*, 1400-7789 ; 2009:10. Uppsala: SLU Publikationstjänst. Libris 11896382

Lundqvist, L. Lindroos, O. Hallsby, G. (2014). *Skogsskötselserien: Slutavverkning*. Nr 20. Skogsstyrelsen.

Mayo, E (1933). The human problems of an industrial civilization. New York, NY: Macmillan Company.

Myhrman, D. Berg, S. Granlund, P. Karlsson, L. (1993). *Terrängmaskinen del 1. 2:a tryckningen*. SkogForsk, Stiftelsen Skogsbrukets Forskningsinstitut.

SCA (2006) Prestationsnormer. Engreppsskördare.

SCA (2011) Prestationsnormer. Skotare.

Silversides, C.R. Sundberg, U. (1988). *Operational efficiency in forestry*. Vol 1: Analysis, Kluwer academic publishers, Dordrecht.

Silversides, C.R.Sundberg, U. (1989). *Operational efficiency in forestry*. Vol 2: Practice, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Skogsstyrelsen. (2014). *Skogsstatistisk årsbok*. Del 7, Avverkning och Virkesmätning. [http://www.skogsstyrelsen.se/Global/myndigheten/Statistik/Skogsstatistisk%20%C3%A5rsbok/02.%202014%20\(Kapitelvis%20-%20Separated%20chapters\)/07%20Avverkning%20och%20virkesm%C3%A4tning.pdf](http://www.skogsstyrelsen.se/Global/myndigheten/Statistik/Skogsstatistisk%20%C3%A5rsbok/02.%202014%20(Kapitelvis%20-%20Separated%20chapters)/07%20Avverkning%20och%20virkesm%C3%A4tning.pdf)

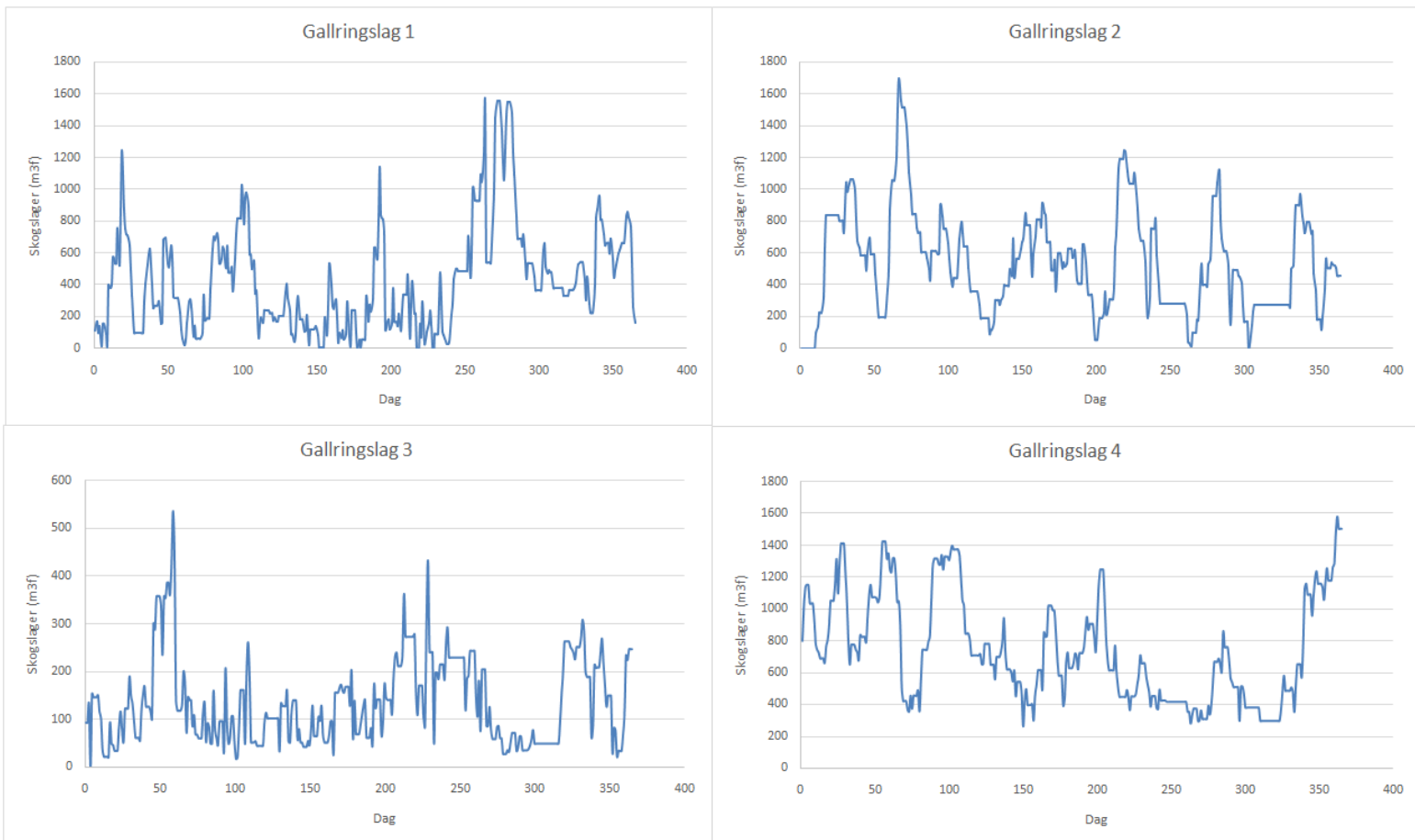
Skogsstyrelsen (1993). *Virkesbalanser 1992*, Meddelande 2-1993, Skogsstyrelsen

Sveaskog. (2013-01-18) *Virkesmätning med skördare*. <http://www.sveaskog.se/Documents/Trycksaker/Produkter%20och%20t%C3%A4nster/Virkesm%C3%A4tning%20med%20sk%C3%B6rdare.pdf>. [2015-09-21]

Tigercat International. *1085b Forwarder*. <http://www.tigercat.com/product/1085b-forwarder/> [2015-11-01]

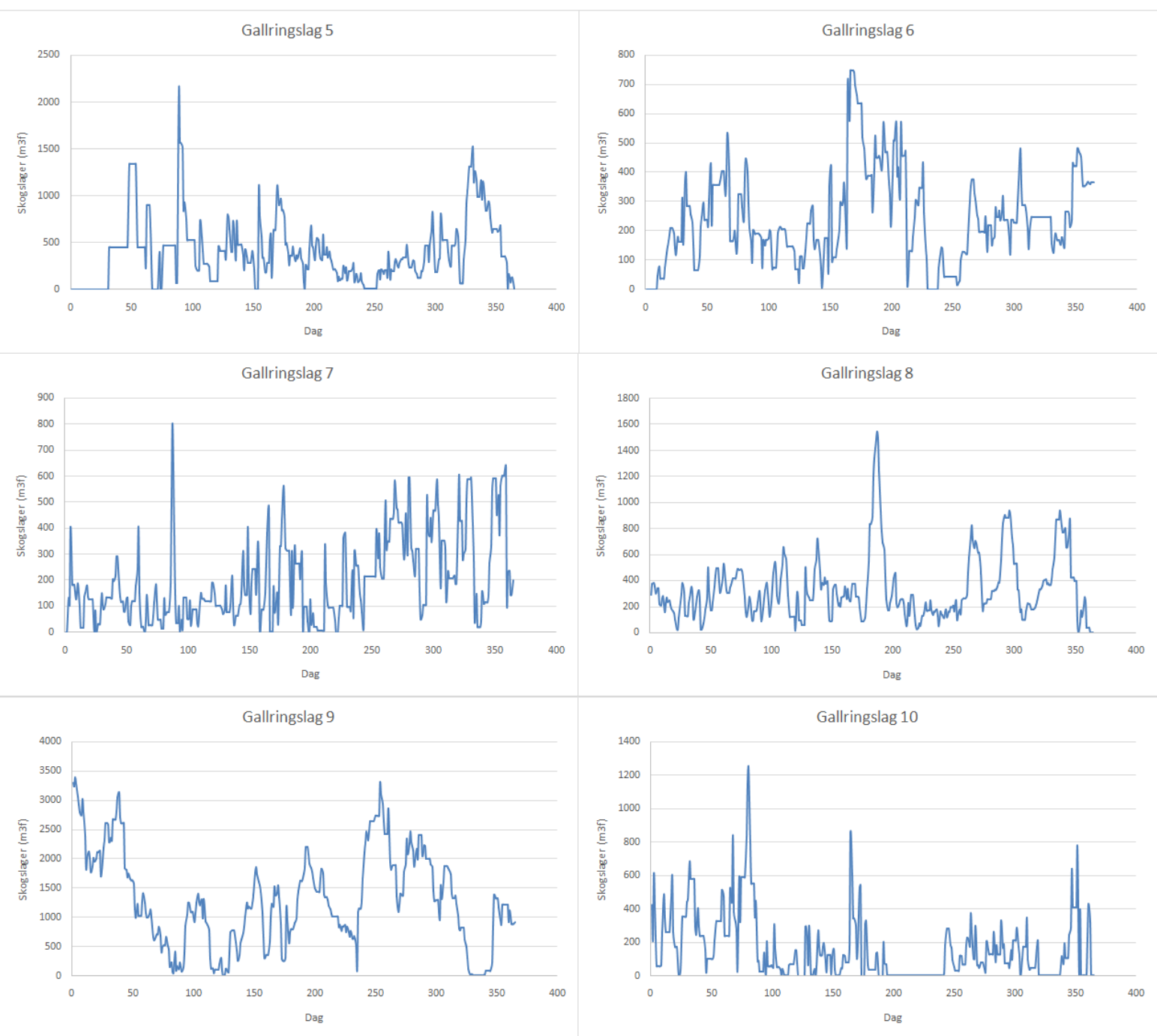
Bilaga 1

Figur B1-B4 illustrerar det löpande skogslagret för de 21 maskinlagen. X-axeln har en skala på 1-365, de vill säga varje dag under studieperioden/året där $x = 1$ är 1:a september och $X=365$ är 31:a augusti. Y-axeln är ett mått på skogslagrets volym under varje enskild dag. Följer man som läsare diagrammen från höger till vänster så följer man skogslagersaldots utveckling över året.

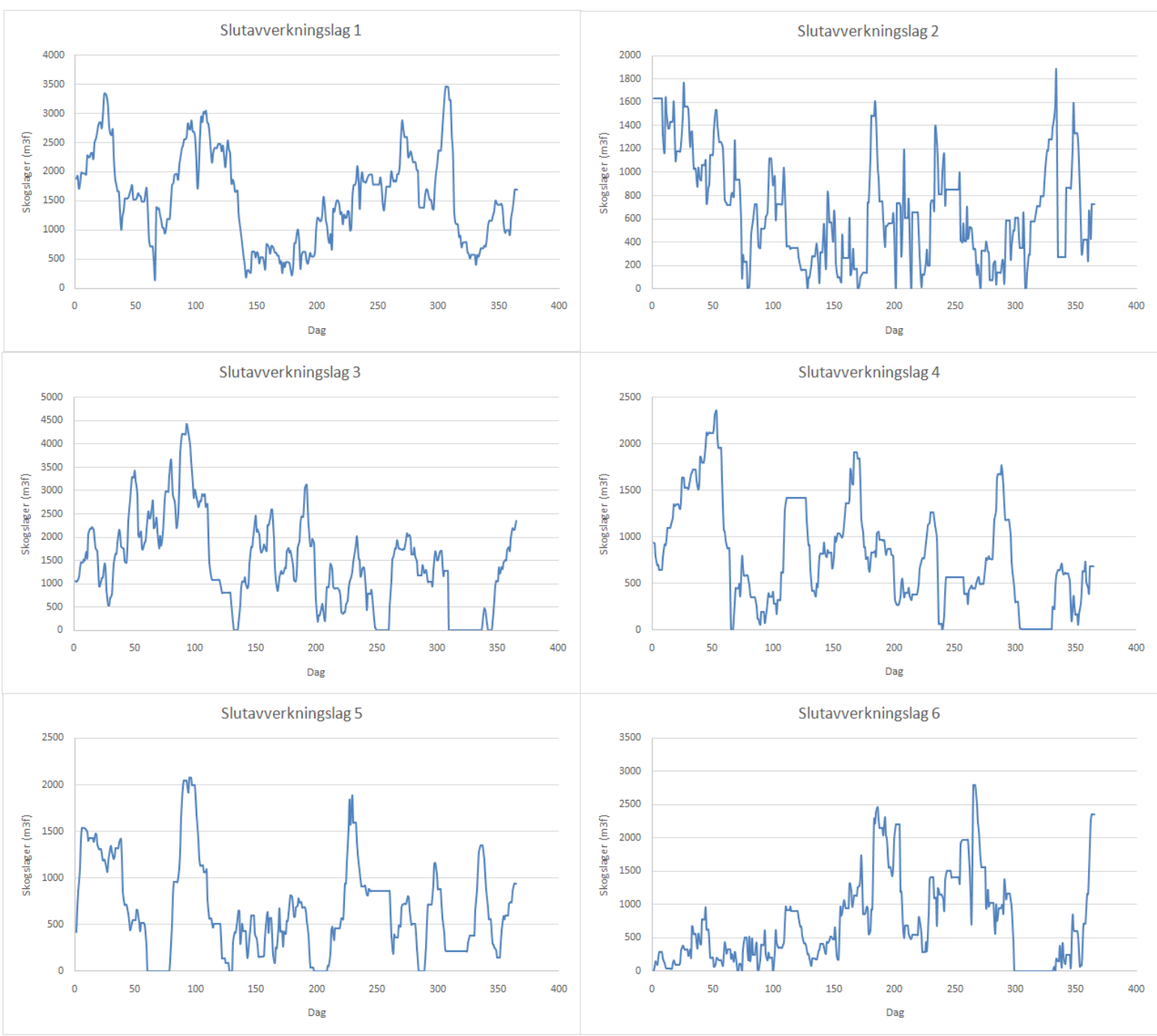


Figur B1. Skogslagrets utveckling under studieperioden för gallringslag 1-4.

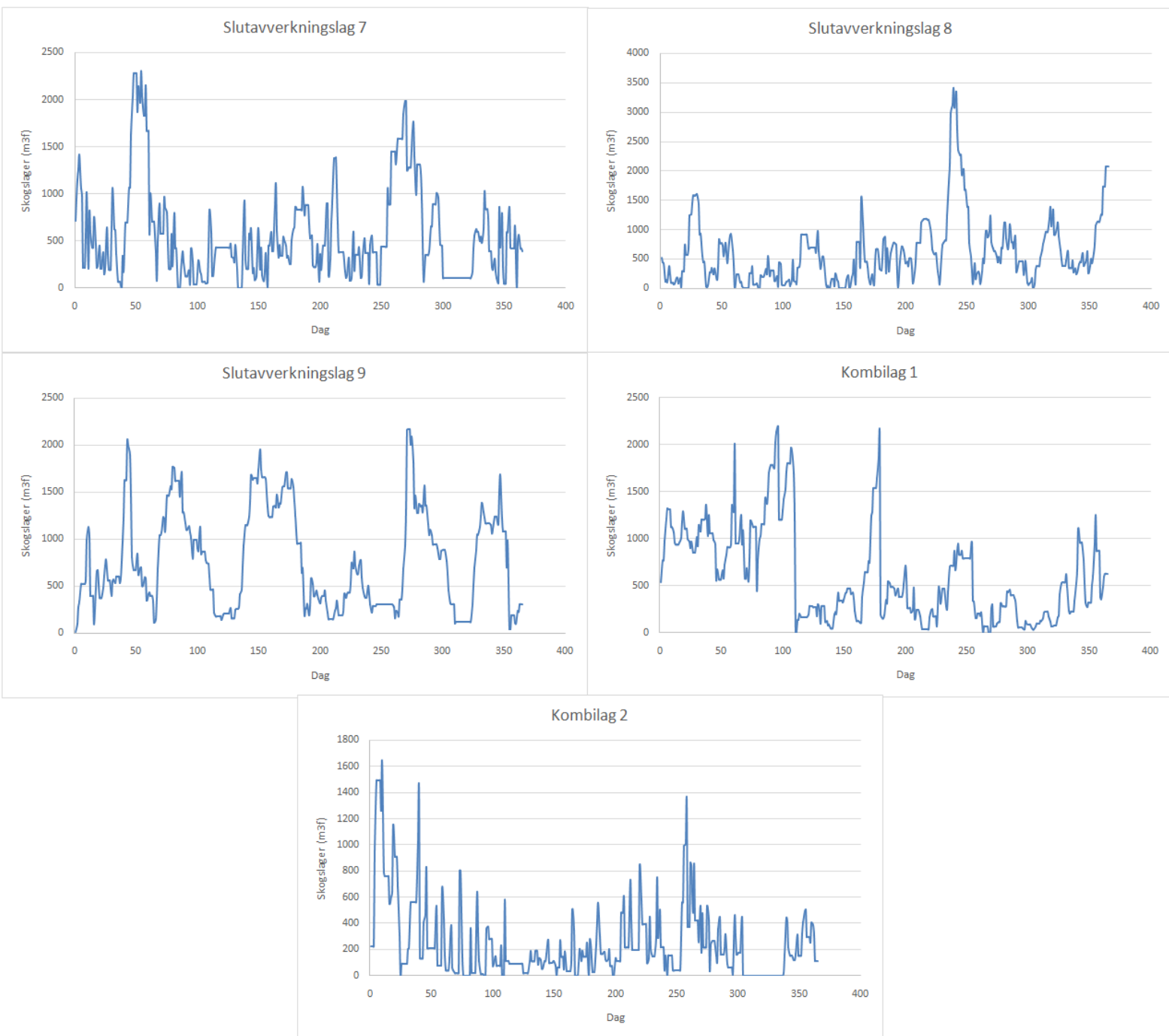
FigureB1. The development of the volume of harvested, but not yet forwarded ,volume during the period of interest for teams 1-4 in thinning operations.



Figur B2. Skogslagrets utveckling under studieperioden för gallringslag 5-10.
Figure B2. The development of the volume of harvested, but not yet forwarded, volume during the period of interest for teams 5-10 in thinning operations.



Figur B3. Skogslagrets utveckling under studieperioden för slutavverkningslag 1-6.
Figure B3. The development of the volume of harvested, but not yet forwarded, volume during the period of interest for teams 1-6 in final felling operations.



Figur B4. Skogslagrets utveckling under studieperioden för slutavverkningslag 7-10 samt kombilag.

Figure B4. The development of the volume of harvested, but not yet forwarded, volume during the period of interest for teams 7-10 in final felling operations, and flexible teams.

Bilaga 2

Tabell B1. Medelvärden för hur stor andel inrapporteringar som sällades bort för varje dataset. I snitt hade varje dataset 422 inrapporteringar. Totalt sällades 22 % av ursprungligt data bort, mestadels beroende på flyttar (17,9 %) och hjälpmaskiner (2,9 %).

Table B1. Mean values of the proportion of reports that were removed for each dataset. Each dataset had an average of 422 reports. In total, 22 % of original data were removed, mostly because of transport of machines (17.9 %) and helping machines (2.9 %).

	Ursprungligt dataset	Bortsållade inrapporteringar					Analyserat dataset
		Flyttar & andra arbeten	Hög tidsåtgång i förhållande till låg volym	Orimligt antal lass	Hjälpmaskiner involverade	Outliers	
Antal (st)	422	76	2	(0,5)	12	3	329
Andel av ursprungligt dataset (%)	100,0	17,9	0,4	0,1	2,9	0,7	78,0